

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh úprav kotle 230 t/h páry pro spalování nízkovýhřevného paliva

Propose Modifications to the Boiler 230 t/h of Steam for low Quality Burning Fuel

Student:

Bc. Leoš Heger

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Bohumír Čech

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Leoš Heger**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh úprav kotle 230 t/h páry pro spalování nízkovýhřevného paliva**
Propose Modifications to the Boiler 230 t / h of Steam for low Quality Burning Fuel

Zásady pro vypracování:

Navrhnete úpravy elektrárenského kotle o jmenovitém výkonu 230 t/h páry pro spalování nízkovýhřevného hnědého uhlí.

Diplomová práce bude obsahovat:

1. Popis stávajícího kotle včetně úprav na kotli provedených před změnou paliva.
2. Varianty možného řešení pro spalování nízkovýhřevného paliva.
3. Výpočet účinnosti kotle a hmotové bilance paliva.
4. Návrh úprav zařízení pro přípravu paliva ke spalování.
5. Zhodnocení přínosu navrhovaného řešení.

Výkresová část bude obsahovat:

1. Sestavný výkres kotle G 230.
2. Výkres zařízení pro přípravu paliva.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČERNÝ, V. a kol. *Parní kotle a spalovací zařízení*. SNTL Praha, 1975.
KOLAT, P. *Přenos tepla a hmoty*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 1986.
DLOUHÝ, T. *Výpočty kotlů a spalínových výměníků*. Skripta ČVUT Praha, 2005.
Zprávy katedry energetiky z měření kotlů v Elektrárně Opatovice

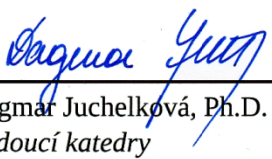
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Bohumír Čech**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě
18.5. 2013

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 12. 5. 2013


.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Leoš Heger

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Na Opuce 88, 500 09 Hradec Králové

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Bohumíru Čechovi za poskytnuté materiály a odborné vedení mé práce.

Bc. Leoš Heger

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HEGER, L. *Návrh úprav kotle 230 t/h páry pro spalování nízkovýhřevného paliva: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2013, 56 s. Vedoucí práce: Čech, B.

Předmětem diplomové práce je návrh úprav elektrárenského kotle G230 pro spalování nízkovýhřevného paliva. V teoretické části jsou uvedeny vlastnosti uhlí a jednotlivé typy používaných mlýnských okruhů. Dále je popsán elektrárenský kotel G230 včetně příslušenství před provedenými úpravami. V druhé části jsou uvedeny možné varianty úprav a zvolena varianta nového mlýnského okruhu s ventilátorovým mlýnem. Následuje výpočet účinnosti kotle, hmotového toku paliva a vlastní návrh s výpočtem parametrů ventilátorového mlýna. V závěru je provedeno zhodnocení navrženého řešení.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

HEGER, L. *Propose Modifications to the Boiler 230 t / h of Steam for low Quality Burning Fuel: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy, 2013, 56 p. Thesis head: Čech, B.

The subject of this thesis is a proposal of possible modifications to the steam boiler for combustion G230 low quality burning fuel. The properties of this coal and various types of possible mill circuits are discussed in the theoretical part of this thesis document. Additionally, the original boiler type G230 with associated accessories is described as initially manufactured - prior proposed modifications. The possible optional modifications and selected variants of the new mill circuit with fan mill are covered in the second part of this thesis document. The third part of this document consists of calculations of boiler efficiency, mass flow of fuel and custom design and calculation of parameters of the fan mill. The last section is an evaluation of the proposed solution.

Obsah

1.	Úvod.....	15
2.	Vlastnosti uhlí	16
2.1.	Disperzivita zrn paliva	16
2.2.	Vlhkost uhlí	16
2.3.	Sypkost a sléhavost uhlí	17
2.4.	Výbušnost uhelného prášku	17
2.5.	Měrná a sypná hmotnost uhlí	17
2.6.	Melitelnost.....	18
3.	Mletí a sušení uhlí.....	19
3.1.	Zařízení na přípravu paliva	19
3.2.	Typy mlýnů	20
3.2.1.	Trubnatý mlýn.....	20
3.2.2.	Tlukadlový mlýn.....	21
3.2.3.	Kroužkový mlýn	21
3.2.4.	Kladkový mlýn	22
3.2.5.	Ventilátorový mlýn	23
4.	Popis kotle G230.....	26
4.1.	Základní parametry kotle	26
4.2.	Konstrukční popis kotle G 230	27
4.2.1.	Napájení kotle	27
4.2.2.	Ohřívák vody	27
4.2.3.	Výparník	28
4.2.4.	Kotlové těleso	29
4.2.5.	Přehřívák páry.....	29
4.2.6.	Mlýnské okruhy	30
4.2.7.	Konstrukce	31
4.2.8.	Vzduchový trakt.....	31
4.2.9.	Spalinový trakt.....	32
4.3.	Úpravy kotle provedené před změnou paliva.....	32
5.	Varianty možného řešení pro spalování nízkovýhřevného paliva	33
5.1.	Zásobníky paliva	34

5.2.	Podavače paliva.....	35
5.3.	Mlýnský okruh	36
5.3.1.	Varianta 1	36
5.3.2.	Varianta 2.....	36
5.3.3.	Varianta 3.....	36
6.	Výpočet účinnosti kotle	37
6.1.	Vymezení soustavy	37
6.2.	Výpočet účinnosti.....	38
6.3.	Hmotnostní bilance spalování	38
6.3.1.	Přepočet paliva na surový stav.....	39
6.3.2.	Kontrola výhřevnosti vzorku paliva	40
6.3.3.	Výpočet stechiometrického objemu spalovacího vzduchu a vzniklých spalin...40	
6.4.	Parametry spalin při nedokonalém spalování	42
6.4.1.	Součinitel přebytku vzduchu za parním kotlem	44
6.4.2.	Objem spalin vzniklých spálením 1kg paliva v místě na odchodu z PK.....44	
6.4.3.	Objem vlhkých spalin	44
6.4.4.	Střední měrná tepelná kapacita spalin	45
6.5.	Výpočet účinnosti.....	46
6.5.1.	Výpočet ztrát.....	47
6.5.2.	Konečný výpočet účinnosti.....	48
7.	Výpočet spotřeby paliva	49
8.	Návrh a výpočet ventilátorového mlýna	49
8.1.	Množství paliva připadající na jeden mlýnský okruh při jmenovitém výkonu kotle.49	
8.2.	Hmotnostní bilance mlecího okruhu	50
8.2.1.	Vysušení paliva.....	50
8.2.2.	Objem vysušené vodní páry.....	50
8.2.3.	Podíl primárního vzduchu.....	50
8.2.4.	Podíl sekundárního vzduchu	50
8.2.5.	Průtok sušícího a nosného prostředí za mlecím okruhem.....51	
8.2.6.	Přisátý vzduch.....	51
8.2.7.	Vzduch přisátý v ohništi	51

8.2.8.	Temperovací vzduch	51
8.2.9.	Nasávané (recirkulované) spaliny z ohniště	52
8.2.10.	Podíl vzduchu v recirkulovaných spalínách	52
8.2.11.	Přísátý vzduch z vnějšku v recirkulovaných spalínách	52
8.2.12.	Celkový temperovací vzduch.....	52
8.3.	Tepelná bilance mlecího okruhu	52
8.3.1.	Přívod tepla do mlecího okruhu.....	53
8.3.2.	Odvod tepla z mlecího okruhu.....	54
8.3.3.	Kontrola	55
8.4.	Kontrola relativní vlhkosti spalin za mlýnem	55
8.4.1.	Vlhkost spalin	55
8.4.2.	Měrná hmotnost spalin.....	55
8.4.3.	Poměrná hmotnostní část vzduchu v sušicím prostředí za mlýnem (bez přísátého vzduchu).....	56
8.4.4.	Měrná vlhkost sušícího prostředí	56
8.5.	Návrh a výpočet parametrů mlýna	57
8.5.1.	Poměrné zúžení profilu mlecími deskami	57
8.5.2.	Ventilační výkonnost mlýna	57
8.5.3.	Výpočet šířky mlecího kola	58
8.5.4.	Výpočet vnitřního průměru mlecího kola	58
8.5.5.	Výpočet obvodové rychlosti	58
8.5.6.	Mlecí výkonnost mlýna	58
8.5.7.	Jmenovitý příkon motoru.....	59
8.6.	Přehled parametrů navrženého mlýna	60
9.	Závěr	61
10.	Použitá literatura	62
11.	Seznam příloh	63

Seznam značení

Použité veličiny

Značka	Jednotka	Veličina
a	[1]	Konstanta závislá na obvodové rychlosti
a ₁	[kg.kg ⁻¹]	Podíl uhlíku paliva, spáleného na CO
b	[kg.kg ⁻¹]	Podíl nespáleného uhlíku paliva
b ₂	[mm]	Šířka mlecího kola
C	[kg.kg ⁻¹]	Obsah uhlíku
c, c _s	[J.m ⁻³ .K ⁻¹]	Střední měrná tepelná kapacita spalin
D ₁	[mm]	Vnitřní průměr mlecího kola
D ₂	[mm]	Vnější průměr mlecího kola
e	[1]	Počet mlýnů
i	[J.m ⁻³]	Entalpie vztažená na 1 m ³
I	[J.kg ⁻¹]	Entalpie vztažená na 1 kg
k _m	[1]	Součinitel mlecí práce
k _o	[1]	Součinitel respektující opotřebení
k _{R90}	[1]	Součinitel jemnosti mletí
k _{vp}	[1]	Součinitel přísátého vzduchu
k _{vp}	[1]	Součinitel přísátého vzduchu v mlecím okruhu
k _w , k _p	[1]	Součinitel respektující obsah vody v palivu
k _z	[1]	Součinitel tepelných ztrát
\dot{m}	[kg.s ⁻¹]	Hmotnostní tok
m	[kg]	Hmotnost
\dot{M}_u	[kg.s ⁻¹]	Mlecí výkonost
\dot{m}_u	[kg.s ⁻¹]	Poměrná mlecí výkonost
n	[min ⁻¹]	Otáčky
p	[Pa]	Tlak
P	[W]	Výkon, Příkon
\dot{Q}	[W]	Tepelný tok
q	[J.kg ⁻¹]	Měrné teplo
Q _i	[J.kg ⁻¹]	Výhřevnost paliva
s	[mm]	Tloušťka mlecí desky
t	[°C]	Teplota

t_1	[°C]	Teplota sušícího prostředí za mlýnským okruhem
V	[m ³ .kg ⁻¹]	Objem vzduchu nebo spalin vztažený na 1kg paliva
V^{daf}	[1]	Obsah prchavé složky v hořlavině
\dot{V}_n	[m ³ .s ⁻¹]	Ventilační výkonnost
W	[kg.kg ⁻¹]	Poměrný obsah vody v palivu
X	[kg.kg ⁻¹]	Hmotnostní podíl složky tuhých zbytků
x	[g.kg ⁻¹]	Měrná vlhkost
Y	[1]	Poměrné zúžení mlecími deskami
z	[1]	Počet mlecích desek
α	[1]	Součinitel přebytku vzduchu
δ	[1]	Vzájemný poměr D_1/D_2
Δ	[1]	Změna, rozdíl difference
ε_m	[kWh.t ⁻¹]	Mlecí práce
ζ	[1]	Relativní tepelná ztráta
η	[1]	Účinnost
λ	[1]	Poměr šířky a vnějšího průměru mlecího kola
μ_{1°	[1]	Součinitel prchavého podílu v palivu
μ_H	[1]	Součinitel melitelnosti podle Hardgrova
μ_r	[1]	Součinitel recirkulovaných spalin z ohniště
μ_s	[1]	Poměrný podíl spalin za mlýnským okruhem
μ_v	[1]	Poměrný podíl vzduchu za mlýnským okruhem
μ_{VTI}	[1]	Součinitel melitelnosti podle VTI
v	[1]	Součinitel respektující zvětšení objemu suchého vzduchu v důsledku vlhkosti
ρ	[kg.m ⁻³]	Měrná hmotnost
φ	[1]	Relativní vlhkost sušícího prostředí
ω	[m ³ .m ⁻³]	Objemový podíl složky ve směsi plynů

Použité indexy

Index	Význam
0	Počáteční; základní, vstupní
1	Výstupní, za mlýnským okruhem
a	Analytický
Ar	Argon
C	Uhlík; hořlavina v tuhých zbytcích
c	Celkový
CO	Oxid uhelnatý; hořlavina ve spalínách
CO ₂	Oxid uhličitý
ex	Výstupní; vnější
H ₂	Vodík
H ₂ O	Voda; vodní pára
Hk	Hořák
i	Složka směsi; člen souboru
in	Vstupní; vnitřní
j	Jmenovitá hodnota
k	Koncový; komín
m	Mlecí práce, mlýn
M	Výpočet dle Mendělejeva
m1	Jeden mlýnský okruh
min	Minimální (teoretický)
N ₂	Dusík
nv	Napájecí voda
o	Ohniště
O ₂	Kyslík
ok	Na výstupu z ohniště
pal	Palivo; přivedeno palivem
pal 0	Přivedené palivo (surové)
pal 1	Umleté palivo (prášek)
pop	Popílek
POV	Předeřhev spalovacího vzduchu
pp	Přehřátá pára
pr	Přivedený; příkon

s	Spaliny
sk	Škvára; struska
sm	Směs
sn	Sušící a nosné médium
snl	Sušící a nosné médium za mlýnem
sno	Nasávané recirkulované spaliny
SO ₂	Oxid siřičitý
spal	Spalitelný
sr	Spaliny recirkulované
ss	Spaliny suché
ssr	Spaliny suché recirkulované
stř	Střední
suš	Sušina
sv	Sdílení tepla do okolí
t	Teoretický
u	Uhlí; uhelný
u ₂	Obvodová rychlost
v	Vzduch
v1°	Primární vzduch
v2°	Sekundární vzduch
ve	Ventilátor, ventilační
vp	Přísátý vzduch
vs	Vzduch suchý
vt	Celkový temperovací vzduch
vt1	Temperovací vzduch 1 (studený)
vt2	Temperovací vzduch 2 (horký)
vyr	Vyrobený (výkon)
w	Voda, vodní pára
z	Ztráty

Použité exponenty

Exponent	Význam
d	Sušina, suchý stav
daf	Hořlavina (palivo bez vody a popela)
r	Surový stav

Použité zkratky

Zkratka	Význam
DEMI	Demineralizovaná voda
EK	Ekonomizérová komora
DEMI	Demineralizovaná voda
EKO	Ekonomizér (ohřívák vody)
EO	Elektroodlučovače
EOP	Elektrárna Opatovice
KK	Kouřová klapka
LUVO	Ohřívák vzduchu
MO	Mlýnský okruh
NUt	Napájecí uzel teplý
PK	Přehříváková komora
SK	Spalovací komora
SCR	Selektivní katalytická redukce
SNCR	Selektivní nekatalytická redukce
TG	Turbogenerátor
USS	Uzel studené sběrný
VK	Vzduchová klapka
VTO	Vysokotlaký ohřívák
VV	Vzduchový ventilátor

1. Úvod

Významná část spotřeby elektrické energie a tepla v České republice je uspokojována zdroji spalujícími hnědé uhlí. Výrobní měly nasmlouvány dlouhodobé kontrakty na dodávky paliva, na které byly navrženy, postaveny nebo později uzpůsobeny. Dlouhodobý kontrakt na určitý druh paliva je důležitý s ohledem na návratnost vložené investice do výstavby nebo rekonstrukce spalovacího zařízení.

Ke svému konci se blíží také smlouva na dodávku uhlí, uzavřená mezi Elektrárnou Opatovice a.s. a těžařskou společností Czech Coal a.s. Dosavadní pokusy o nové uzavření smlouvy na dodávky paliva pro následné období nevedly k dohodě. Příčinou neúspěšného jednání se jeví nepřiměřené cenové požadavky ze strany těžařské společnosti Czech Coal a.s., která má na trhu s volným hnědým uhlím v České republice dominantní postavení.

Neúspěšná jednání o nové smlouvě na dodávky současně spalovaného paliva nutí vlastníka Elektrárny Opatovice a.s. k hledání alternativního řešení. To se nabízí v podobě paliva od Německé společnosti MIBRAG, kterou současně také vlastní. Hnědé uhlí od společnosti MIBRAG se vyznačuje nízkou výhřevností a velkým obsahem vody. Pro jeho spalování by bylo nutné provést nezbytné úpravy spalovacího zařízení umožňující jeho plnohodnotné využití. Právě výše zmíněné úpravy spalovacího zařízení, které by umožnily plnohodnotně spalovat toto palivo, jsou předmětem této diplomové práce.



Obrázek 1.1 Elektrárna Opatovice a.s. [6]

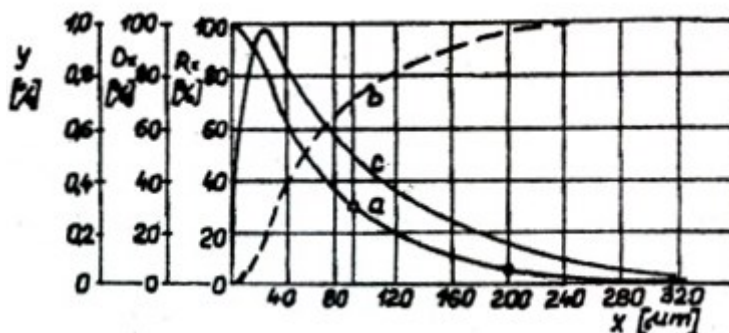
2. Vlastnosti uhlí

Pro volbu vhodného způsobu transportu, skladování a spalování uhlí a uhelného prášku rozhoduje řada jeho vlastností. [2] [3] [4]

2.1. Disperzivita zrn paliva

Mezi základní vlastnosti uhelného prášku patří disperze zrn a jejich četnost v daném objemu. Z různých rozměrů plyne i rozdílný podíl hořlaviny, popeloviny a vody. Je tedy zapotřebí určit průměrnou hodnotu poměrného obsahu těchto tří složek. K tomu slouží diagram tvořený třemi křivkami:

- křivka četnosti - udává nám závislost hmotnostního podílu větších zrn oproti charakteristickému rozměru;
- rozseвовá křivka - popisuje závislosti na charakteristickém rozměru;
- křivka propadu – dána hmotnostním podílem zrn menších než charakteristický rozměr.



Graf 2.1 Křivka: a- rozseвовá, b-propadu, c-četnosti [4]

Další vlastností uhelného prášku související s disperzí zrn je tzv. ekonomická jemnost mletí. Jedná se o zvolení optimální velikosti zrn, při které bude možné spalovat uhlí s co nejlepší účinností a zároveň s co nejnižšími náklady na mletí.

2.2. Vlhkost uhlí

Každé uhlí obsahuje určité množství vody, které hraje významnou roli při transportu, podávání, uskladnění a zároveň způsobuje zhoršení spalování. Se zvyšujícím se podílem vody může dojít ke tvorbě vloček, hrudek prášku a hrozí zde nebezpečí váznutí uhelného prášku v zásobnících, zalepování podavačů, svodek, hořáků atd.

Voda obsažena v uhlí se klasifikuje do pěti skupin:

- volná – mechanicky přimísená při dopravě, skladování;
- hrubá – kapilárně vázána na uhelnou substanci;

- hygroskopická – adsorptivně vázaná voda v samotných uhelných zrnech;
- konstituční – chemicky vázaná voda;
- okludová – uzavřena v nejjemnějších kapilárách zrn. Při rozboru je započítána do hořlaviny.

2.3. Sypkost a sléhavost uhlí

Základní informací pro správný návrh podavačů a zásobníků je sypkost a sléhavost uhlí. Tyto vlastnosti jsou závislé na tvaru, velikosti zrn a jejich granulometrickém rozložení. Sléhavost roste, čím je tvar zrna rozdílnější od koule. Dále závisí na materiálových vlastnostech, na době a způsobu uložení. Vlhkost paliva do 15% se zanedbává, při vyšším obsahu dochází ke zvýšení lepivosti.

2.4. Výbušnost uhelného prášku

Výbušnost uhelného prášku je definována jako schopnost rozšířit spalování, vyvolané v práškovém mraku o určité koncentraci. Samovznícení vyjadřuje schopnost vznícení paliva bez cizího zdroje.

Uhelný prach spolu se vzduchem při určité koncentraci vytváří výbušnou směs. Dojde-li ke vznícení v uzavřeném prostoru, naroste prudce místní tlak a tlaková vlna postupuje rychlostí $1000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ v prostoru s uhelným prachem za frontou plamene. To má za následek poškození mlecího zařízení a vyšlehnutí plamene.

S ohledem na bezpečnost je pro tuhá paliva s výhřevností v rozmezí $8,4 \div 25 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ hmotnostní koncentrace ve spalovacím vzduchu volena v intervalu 0,5 až $1,5 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tj. 420 až $1300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$).

Při dokonalém a adiabatickém hoření dochází ke zvýšení tlaku přibližně 0,8 až 1 MPa. Při skutečném procesu k takovému hoření nedochází a tlak při výbuchu nepřesahuje 0,3 MPa. Mlecí okruhy se dimenzují na přetlak $0,1 \div 0,2 \text{ MPa}$ s pojistnými klapkami či pojistnými membránami vyústěnými nad střechu.

2.5. Měrná a sypná hmotnost uhlí

Měrná hmotnost ovlivňuje funkci mlecího zařízení, třídícího zařízení, podávání paliva a pneumatický transport. Velikost zásobníku a výkonu podavačů je závislá na sypné hmotnosti, která se odvíjí též od doby skladování. Obě hodnoty ovlivňuje zrnitost, obsah vody a popelnatost.

2.6. Melitelnost

Vyjadřuje nám schopnost paliva měnit svůj povrch. K jejímu určení slouží tzv. index melitelnosti, který udává kolikrát lépe či hůře se dané uhlí mele než uhlí vybrané za standard. Melitelnost ovlivňuje několik fyzikálních vlastností uhelného prášku:

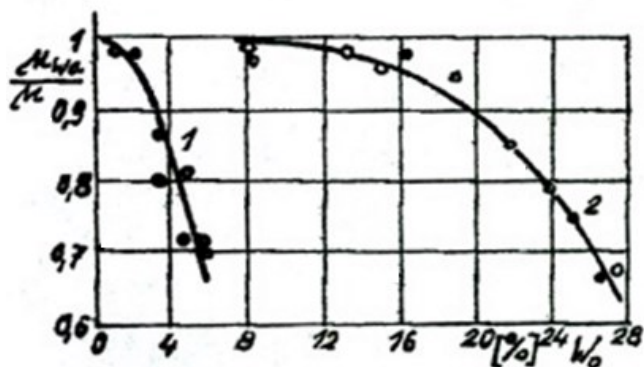
- rozměr zrn materiálu - s rostoucí velikostí elementů uhlí se melitelnost zlepšuje. Větší kusy obsahují trhlinky z primárního získávání a další heterogenity, které usnadňují štěpení materiálu.
- tvrdost – vyjadřuje závislost odporu materiálu proti mletí. Tvrdší materiál se lépe mele, ale více opotřebovává mlecí plochy.
- heterogenita – různorodost vlastností zrn způsobuje zvýšení opotřebení mlecího systému. Například pro popelnatá paliva se nejčastěji užívá trubnatý mlýn.
- vlhkost – dle výskytu vody rozlišujeme:
 - povrchová vlhkost zrn – nebezpečí obtíží při desintegraci, nutnost vysušení.
 - vlhkost v dutinách zrn – vysušení probíhá pomocí vysokoteplotního media vlivem teplotního šoku.
- adhesivita – při vzniku shluků dochází k přetěžování třídiče a jejich ulpívání na povrchu na mlecích plochách, a proto je vhodný mlýn s vibrací.
- struktura materiálu – dle tvaru se odvíjí volba vhodného třídiče.

Při určování melitelnosti postupujeme dvěma způsoby:

- metodou konstantní užitečné mlecí práce – na mlecí vzorek působíme jednorázově (či opakovaně) předepsanou mlecí energií a sledujeme poměrné zvětšení povrchu vzorku. Určující parametr je zde míra odporu proti mletí.
- metodou stále jemného produktu – k mletí dochází, dokud nedosáhneme požadované jemnosti. Mírou melitelnosti je spotřebovaná energie na mletí.

Index melitelnosti bude záviset nejen na použitém typu mlýna, ale i na nedokonalosti přepočtu těchto dvou metod.

Jak již bylo napsáno v kapitole 2.2, uhlí obsahuje i značnou část vody. Mleté palivo ve mlýně obsahuje rozdílné poměrné množství vody oproti analytickému vzorku. Z toho vyplývá i závislost indexu melitelnosti na obsahu vody viz graf č. 2.2.



Graf 2.2 Závislost melitelnosti na poměrném obsahu vody (1-černé uhlí, 2-hnědé uhlí) [4]

3. Mletí a sušení uhlí

Pro spalování paliva hospodárným způsobem musíme palivo předem na spalování náležitě připravit. Tuhá paliva se připravují ke spalování jednak v místě těžby, tj. v třídírně nebo úpravně a jednak v místě spotřeby, tj. na skládce nebo v kotelně. V místě těžby se palivo upravuje drcením velkých kusů, oddělováním hlušiny, prachu a tříděním podle velikosti zrn na jednotlivé frakce. Ke třídění podle velikosti zrn se používá soustava sít. V místě spotřeby je příprava paliva nejjednodušší pro roštová ohniště. Většinou nevyžadují žádnou přípravu, někdy se mokrá uhlí předsušují a spékavá zvlhčují. U práškových ohnišť je naopak příprava paliva poměrně náročná. Palivo musíme mlet, sušit, třídít na určitou jemnost, pneumaticky dopravovat, odlučovat od nosného média a popř. uskladňovat v zásobnících.

3.1. Zařízení na přípravu paliva

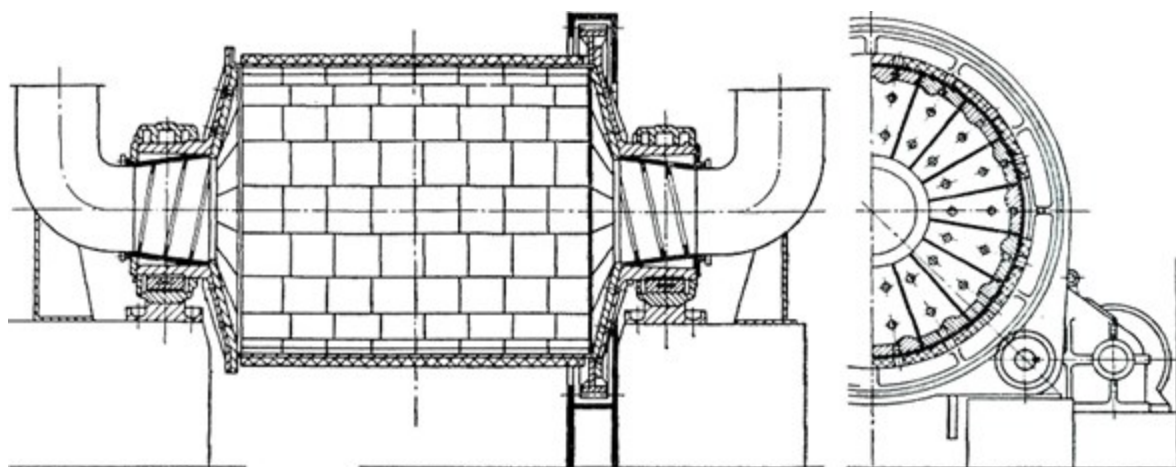
Mezi nejjednodušší a dnes také mezi nejpoužívanější typy mlecích okruhů patří mlecí okruhy s přímým foukáním prášku do ohniště. Uhlí padá ze zásobníku paliva do podavače, který ho dopravuje v potřebném množství do sušky paliva ve tvaru svislé trouby, ve které proudí spolu s horkým vzduchem nebo spaliny. Z obsahu vody, který je potřeba z paliva vysušit, připadají na sušení v sušce přibližně 1/3 až 2/3. Palivo je pomocí sušícího média dopravováno do mlýna, kde dochází k jeho mletí a dosušení. Mletím se měrný povrch paliva mnohonásobně zvětší, což přispívá i k lepšímu dosušení. Ze mlýna je rozemleté palivo unášeno přes třídič, ve kterém se oddělí hrubá frakce zrn paliva od prášku o požadované jemnosti. Hrubá frakce zrn paliva se vrací zpět do mlýna a jemný prášek proudí dále do hořáků. Dopravu vzduchu obstarává ventilátor sekundárního vzduchu nebo zvláštní ventilátor zařazený před sušku. U podtlakového mlýnského okruhu zajišťuje dopravu vzduchu a prášku mlýnský ventilátor umístěný v práškovodu za třídičem. Nevýhodou tohoto uspořádání je silné namáhání ventilátoru erozí.

Mlecí okruhy s práškovým zásobníkem mají stejně jako mlecí okruhy s přímým foukáním palivo přiváděné ze zásobníku surového paliva podavačem paliva přes sušičku paliva do mlýna a třídiče. Avšak vytríděný prášek se nedopravuje do spalovací komory, ale odloučí se od nosného média v odlučovačích prášku a uskladňuje v zásobnících prášku. Z práškových zásobníků je uhelný prášek odměřován práškovým podavačem a v ejektoru se směšuje s primárním vzduchem, pomocí kterého je dopravován do hořáků kotle. Pro sušení prášku se používá vzduch i spaliny, popř. jejich směs. V závislosti na využití brýd rozlišujeme mlecí okruh otevřený nebo uzavřený. Otevřené uspořádání se používá u mokrého paliva, kdy jsou brýdy s velkým obsahem vodních par odváděny přes odlučovač uhelného prášku do komína. U uzavřeného okruhu se brýdy spalují v brýdových hořácích nebo slouží jako primární nosné médium dopravující uhelný prášek do ohniště. [2] [4]

3.2. Typy mlýnů

3.2.1. Trubnatý mlýn

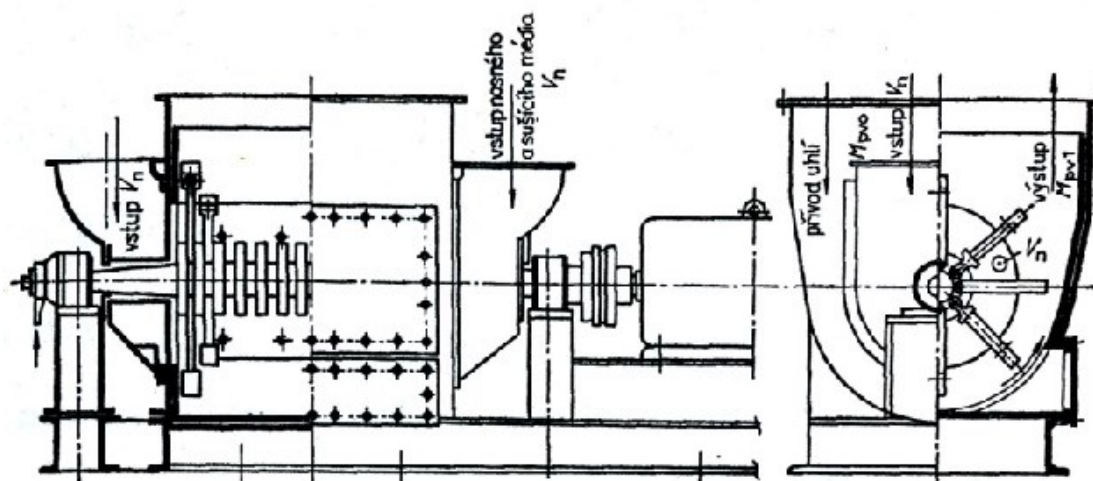
Trubnatý mlýn se obvykle volí pro výkonnost 5 až 80 t·h⁻¹. Užívá se pro paliva s nízkým prchavým podílem a s menším obsahem vody, z důvodu bezpečnostní hodnoty teploty, která nesmí být vyšší než 375°C. V případě překročení teplotního limitu hrozí nebezpečí poškození ložisek. Princip mletí uhlí v trubnatém mlýně spočívá v dynamickém účinku rázu kovových mlecích elementů, které jsou vynášeny rotujícím bubnem a následně padají na vrstvu paliva po parabolické dráze. Při vrtivém válení mlecích elementů dochází k působení tlaku a otěru na vnitřní i vnější vrstvu uhlí. Směs uhlí a mlecích elementů vytváří hladinu, jejíž tvar je závislý na otáčkách, poměrném zaplnění bubnu uhlím a koulemi, synpém úhlu uhlí a součiniteli tření při pohybu mlecích elementů. Trubnatý mlýn je znázorněn na obr. č. 3.1.



Obrázek 3.1 Trubnatý mlýn [2]

3.2.2. Tlukadlový mlýn

Tlukadlový mlýn (obr. 3.2) je stavěn pro rozsah výkonnosti 1 až 80 t·h⁻¹ a lze jej aplikovat v okruzích s přímým foukáním i práškovým zásobníkem. Vlhkost paliva může dosahovat až 35%. K mletí uhlí v tlukadlovém mlýně dochází vlivem dynamického účinku sil vzniklých srážkou uhelných zrn s tlukadly rotoru mlýna či pancířem mlecí skříně. Mlecí komora je vypancéřovaná s tečným nebo sečným vstupem uhlí. Nosné a sušící médium je přiváděno osově či tečně. K vodorovné hřídeli tvořící rotor jsou připojena výkyvná ramena s tlukadly pomocí čepů a nábojů s oky. Tlukadla jsou vyrobena z uhlíkové či manganové ocelolitiný ve tvaru obdélníkových desek či hranolů. Jejich počet, tvar a uspořádání na rotoru má vliv na výkon, příkon a ventilaci mlýna. Výkonnost tohoto typu mlýnu je úměrně závislá na rychlosti úderu, tudíž i na obvodové rychlosti tlukadel. V případě velmi vysokých obvodových rychlostí tlukadel dochází k poklesu doby setrvání zrn v mlecí zóně. To má za následek snížení pravděpodobnosti počtu srážek, a tím i ke snížení účinnosti mletí.



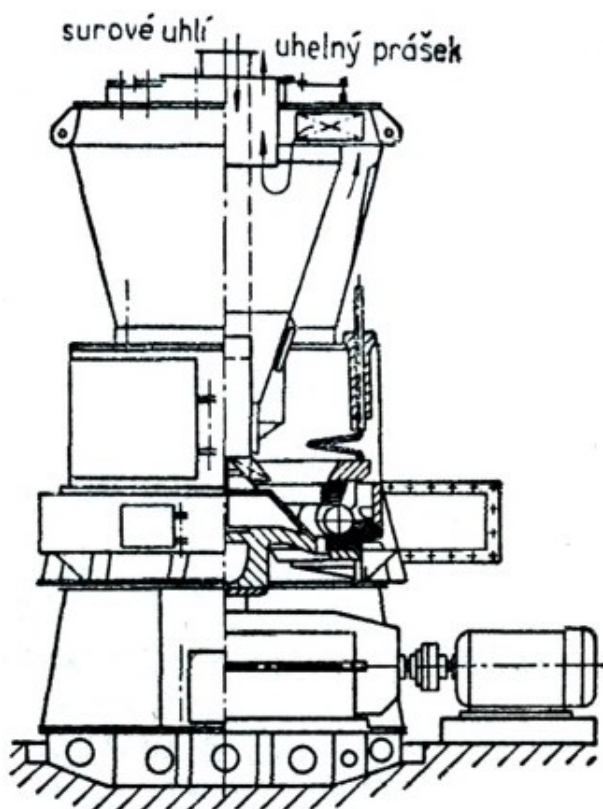
Obrázek 3.2 Tlukadlový mlýn [2]

3.2.3. Kroužkový mlýn

Kroužkový mlýn se skládá z vodorovného talíře s kruhovou drážkou, který se otáčí kolem své svislé osy. V drážce rotuje 6 až 20 koulí, přičemž každá z nich je přitlačována pružinami a silou tíže přitlačného prstence. Jsou vyrobeny z oceli kování nebo lisováním. K dezintegraci paliva dochází drcením a otěrem mezi koulemi a talířem z ocelolitiný. Uhlí je odstředivou silou unášeno na okraj talíře a v nosném médiu o teplotě 150 ÷ 200°C se třídí dle velikosti frakce. Nosné médium je přiváděno do spirální skříně na spodní straně mlýnu. Pohon talíře zajišťuje kuželový převod s poměrem voleným tak, aby při určitých otáčkách motoru byl dán rozdíl odstředivých a třecích sil, pro zajištění požadované jemnosti mletí. Při mletí dochází k opotřebovávání mlecích koulí, a proto se musí provádět i regulace

přítlačné síly. Regulace se provádí stlačováním přítlačných pružin mechanickým nebo hydraulickým způsobem. Na horním konci skříně mlýna je pomocí příruby připojen třídič, který bývá obvykle odstředivý. Krupice ze třídiče se spolu se surovým uhlím vrací zpět na střed talíře.

Kroužkový mlýn se nehodí pro mletí mokrého paliva. Před mlýn se nedá předřadit kontaktní suška a sušení musí tudíž probíhat až ve mlýně. Mlýn je citlivý na vyšší teploty, a proto lze sušit palivo do maximálně 15% obsahu vlhkosti. Mokré palivo se navíc tlakem a otěrem špatně mele, proto není pro jeho mletí kroužkový mlýn vhodný. Kroužkový mlýn je znázorněn na obrázku č. 3.3.



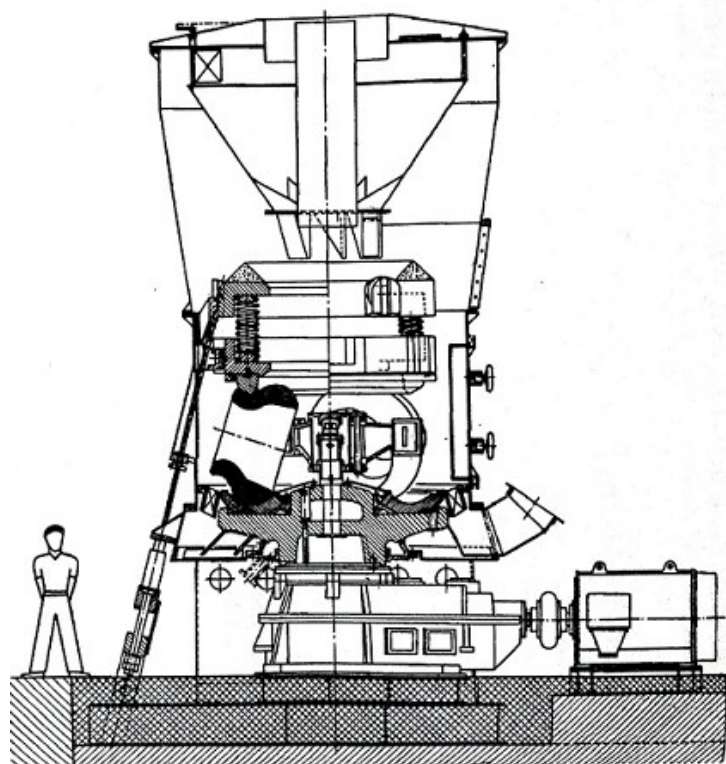
Obrázek 3.3 Kroužkový mlýn [2]

3.2.4. Kladkový mlýn

Provedení kladkového mlýna na uhlí je obdobné jako u mlýna kroužkového. Talíř je vyroben z ocelolitiny a je vodorovný. Činná plocha talíře je obložena pancířem z Mn-ocelolitiny. Kladky mají také vyměnitelný pancíř a bývají uloženy na válečkových nebo kluzných ložiskách. Kladky jsou k talíři přítlačovány pružinou přes dvouramennou páku. Přítlačná síla se reguluje stlačením pružiny mechanickým nebo hydraulickým způsobem. Seřizování je potřebné s rostoucím opotřebením.

Příkon mlýna se určuje podle konstrukce z valivých momentů. Přes dobré vlastnosti kladkových mlýnů spočívá hlavní nevýhoda v tom, že před ně nelze předřadit sestupná

sušička paliva. Konstrukční provedení mlýna navíc neumožňuje překročit teplotu nosného a sušícího média přes $350 - 400^{\circ}\text{C}$. Z toho vyplývá maximální možný obsah vlhkosti v mletém palivu 15%. Kladkový mlýn je znázorněn na obrázku č. 3.4.



Obrázek 3.4 Kladkový mlýn [2]

3.2.5. Ventilátorový mlýn

V rámci diplomové práce navrhují mlecí okruh s ventilátorovým mlýnem. Jedná se o zařízení určené pro méně hodnotná uhlí s obsahem vody vyšším než 35%. K sušení uhlí jsou použity spaliny o teplotě nad 600°C . Hlavní výhodou tohoto typu mlýna je, že plní zároveň funkci mlecí (desintegrace paliva na potřebnou jemnost) i ventilační.

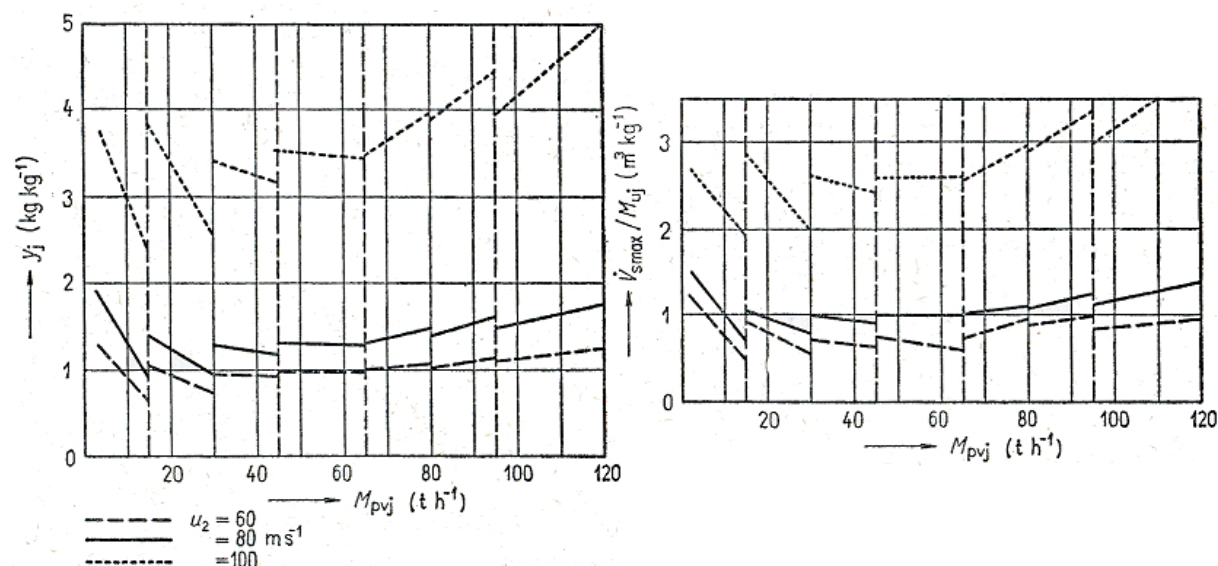
Princip ventilačního účinku mlýna spočívá v nasávání potřebného množství sušících spalin, za účelem co nejoptimálnějšího mletí a třídění uhlí. Dále slouží nasáté spaliny jako nosné médium uhelného prášku, jehož rychlost v hořácích na vstupu do kotle dosahuje hodnot vyšších než $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ventilační účinnost se pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,35.

Ventilátorový mlýn disponuje menším počtem rovných silných lopatek s poměrem průměrů kol blízkým hodnotě 2, z čehož vyplývá, že radiální rychlost vzdušiny na výstupu dosahuje přibližně poloviční velikosti oproti vstupu. Důsledkem poměrně nízkých výstupních rychlostí může dojít k zahlcení mlýna, k víření, a ke vzniku sekundárního proudění mezi mlecími deskami. Pro zajištění dostatečného mlecího výkonu, při přiměřené měrné mlecí práci, je zapotřebí volit obvodovou rychlost na vnějším průměru kola z intervalu $80 \div 100\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Rovné mlecí desky jsou nastaveny radiálně a plní funkci lopatek s velmi příznivým vlivem na dezintegraci uhlí. Pravoúhle směřované lopatky způsobují velké tlakové ztráty rázem na vstupu do lopatkové mříže, a též snížení celkového tlaku. Pro tlakovou charakteristiku je též nevhodný nízký počet a tloušťka mlecích desek, které zvyšují tlakovou ztrátu uvnitř kola a způsobují vznik vírů.

V grafu č. 3.1 je znázorněna závislost mlecí a ventilační výkonnosti při konstantních otáčkách. Při snížení mlecí výkonnosti narůstá poměrný ventilační výkon a zároveň klesá tlaková ztráta okruhu. To vše má za následek přesoušení paliva, růst teploty za třídičem, zhrubnutí uhelného prášku, a také růst rychlosti v práškovodech a hořácích. Pro zajištění variabilnosti režimů při určité konstantní mlecí výkonnosti je možno ventilační účinnost regulovat:

- změnou tlakové ztráty - změnou odporové charakteristiky:
 - odpor v sacím traktu lze regulovat pomocí vzduchem chlazených šoupátek s možností přednastavení. Dále umístěním měsíčkové clony do horní části sacího hrdla.
 - výtlačný trakt mlecího okruhu mohou ovlivnit úpravou ústí hořáků či změnou délky a průřezu práškovodů, přednastavením klapky či návratového šoupátka.
- změnou ventilační charakteristiky, která je vhodná především pro velké jednotky ($V_{nj} > 40 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$). Provádí se změnou otáček pomocí frekvenčního měniče, či hydraulické spojky.



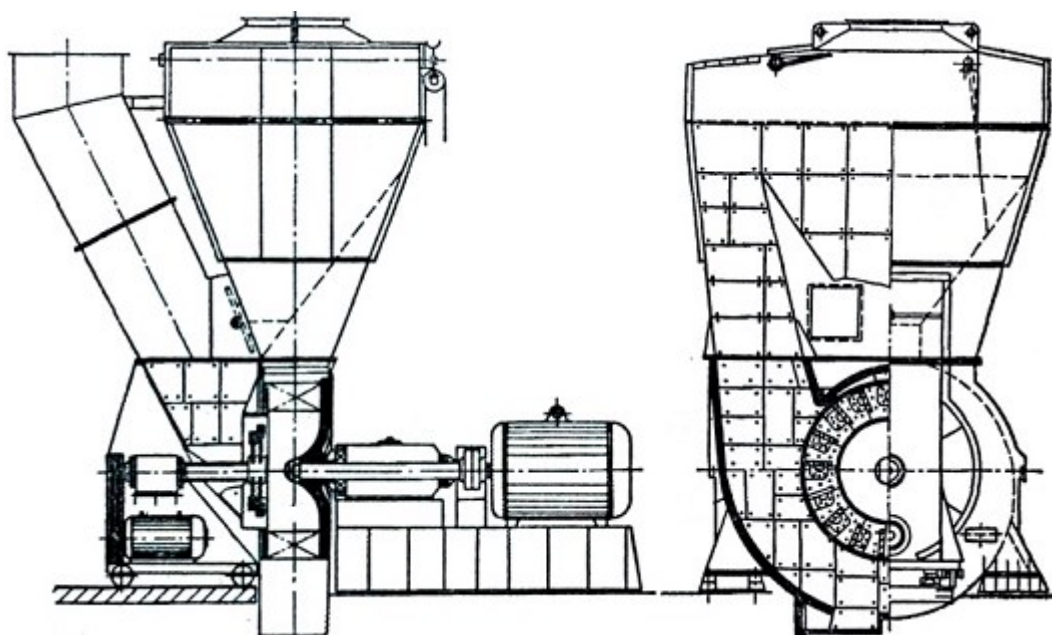
Graf 3.1 Závislost mlecí a ventilační výkonnosti [2]

K dezintegraci uhelných zrn ve ventilátorovém mlýně dochází srážkou uhelných zrn s mlecími deskami a srážkou částic paliva vyletujících z kola s pancířem spirálové skříně. Nosné médium s palivem vstupuje do mlýna axiálně. Vlivem změny směru vzdušiny

při radiálním vstupu na oběžné kolo dochází ke třídění uhelných zrn dle jejich velikosti. Těžší frakce pokračují v axiálním směru a vystředují se blíže k zadní stěně. Lehčí jsou unášeny vzdušinou radiálně. Tento jev je zapříčiněn působením odstředivé síly a silou danou dynamickým tlakem proudící vzdušiny. Při určení lokality srážky zrna s mlecí deskou hraje významnou roli hmotnostní koncentrace v první třetině šířky blíže přednímu disku. Zde se vyskytuje přibližně 70 až 80% hmoty paliva a dochází k největšímu opotřebovávání mlecí desky.

Při návrhu ventilátorového mlýna je nutno zjistit intenzitu mletí. Tato síla rázu, daná srážkou zrna s mlecí deskou a četností srážek, ovlivňuje závislost poměrné výkonnosti vztažené na plochu průměru kola a jeho rychlosti. S rostoucí výkonností roste i rychlost kola. Po dosažení určité rychlosti začíná prudce stoupat i příkon s měrnou mlecí prací. Jak již bylo napsáno výše, s ohledem na velikost zařízení je rychlost obvykle volena 80 až 100 m·s⁻¹. Se vznikajícím opotřebením se stává rotor nevyvážený a je nutno provést opravy. Pro zajištění bezpečného odstávky je mlýn ochlazován přisáváním studeného vzduchu nebo pro urychlení lze použít i vodu.

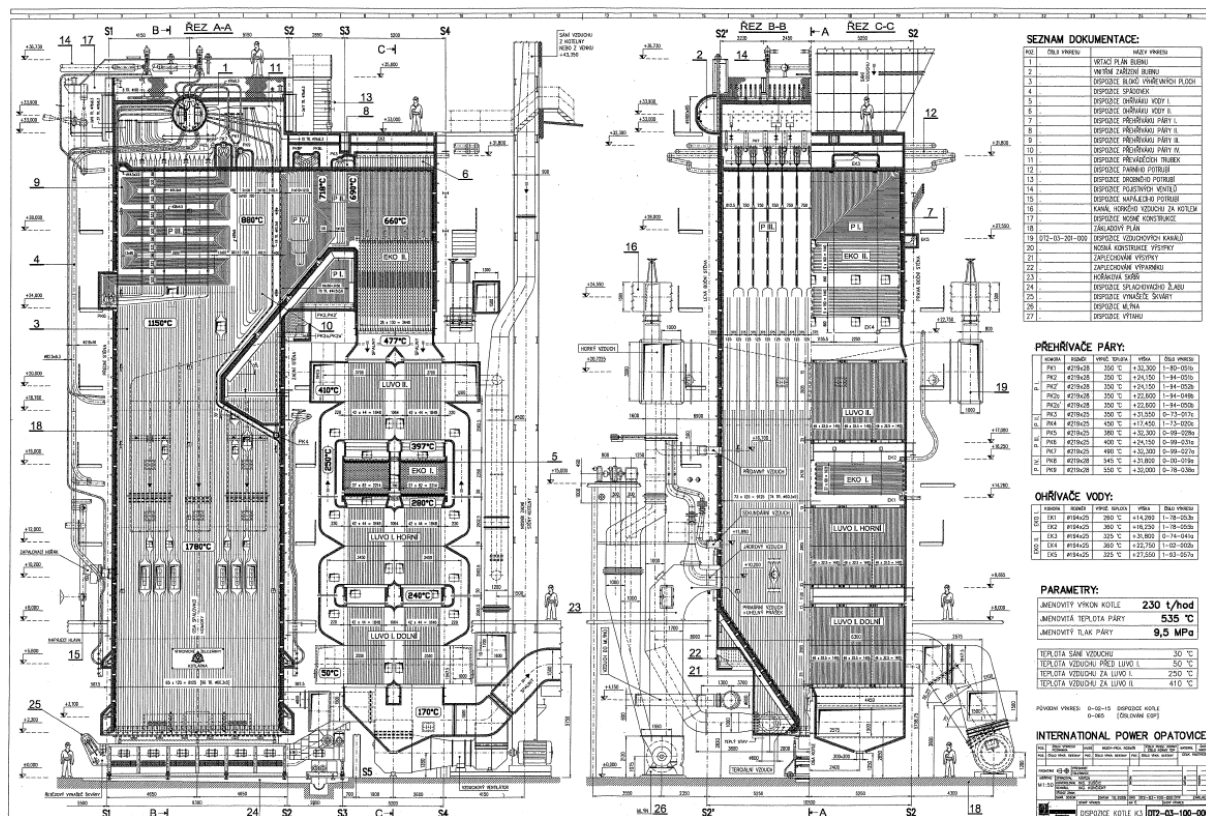
V případě potřeby zvýšení výkonu tohoto typu mlýna lze do sání umístit tlukadlový předdrtič. Ten může být na společném hřídeli s kolem nebo letmo uložený na konzoli s vlastním pohonem. V případě letmého uložení je jednodušší montáž a výměna kola a je možné nastavit odlišné otáčky kola a tlukadlového rotoru. Nevýhodné je vysunutí a potřeba dalšího motoru. Ventilátorový mlýn s předřazenými tlukadly je znázorněn na obrázku č. 3.5.



Obrázek 3.5 Ventilátorový mlýn s předřazenými tlukadly [2]

4. Popis kotle G230

Popis kotle vychází z místních provozních předpisů Elektrárny Opatovice [11]. V EOP je instalováno 6 kotlů o jmenovitém výkonu 250 t/h. Kotle jsou bubnové s přirozenou cirkulací, práškovým, granulačním ohništěm. Provedení je jednotahové s dodatkovými plochami využívanými pro regenerační ohřev napájecí vody spaliny, viz obrázek č. 4.1.



Obrázek 4.1 Kotel G 230

4.1. Základní parametry kotle

Parametr	Minimální výkon	Jmenovitý výkon
Výkon kotle	109 MW	178 MW
Množství vyrobené páry	150 t/h	250 t/h
Jmenovitá teplota přehřáté páry	530 °C	530 °C
Jmenovitý tlak přehřáté páry	9,51 MPa	9,51 MPa
Jmenovitá teplota napájecí vody	195 °C	195 °C

Tabulka 4.1 Základní parametry kotle

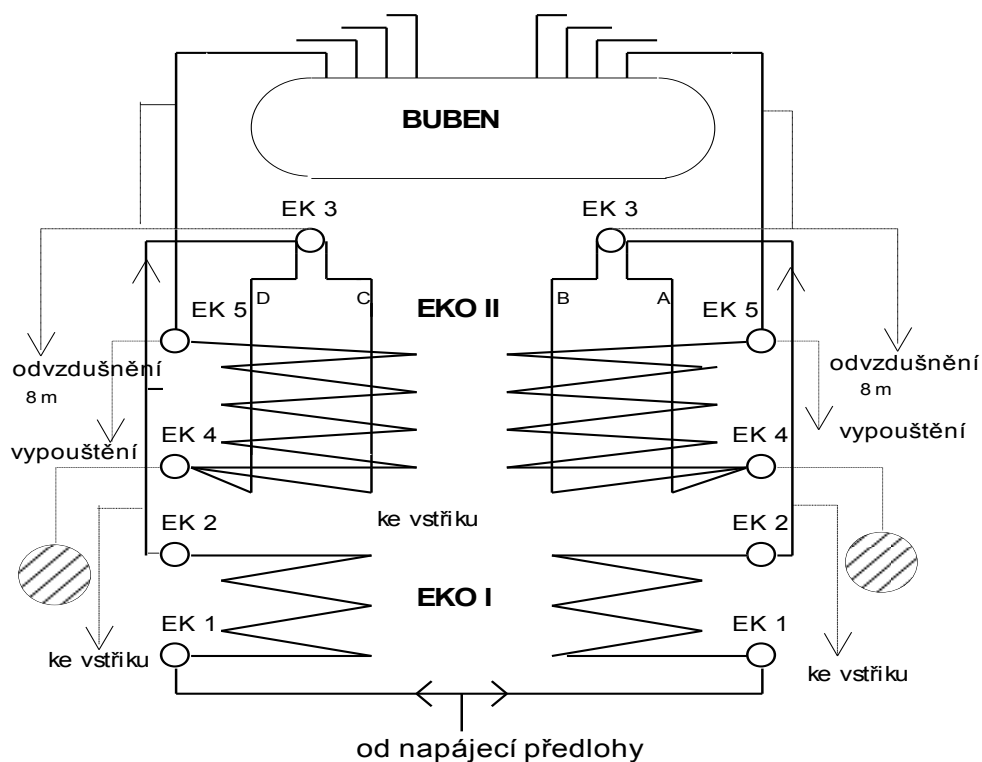
4.2. Konstrukční popis kotle G 230

4.2.1. Napájení kotle

Do kotle jsou přivedeny dvě napájecí větve, přičemž jedna z nich vždy slouží jako záložní. Lichými napájecími čerpadly je voda vedena do NUt a sudými navíc prochází přes VTO. Dle konstrukčního uspořádání USS lze provozovat čerpadla také přes propoj USS. Z NUt proudí napájecí voda pravou či levou větví nad blokovým velínem do napájecí předlohy. Ta je tvořena odvzdušněním, napájecím ventilem, zpětnou klapkou a ručně uzavíratelným šoupětem s vypouštěním na expandér kotelný. Dále je napájecí voda vedena do "T" kusu a odtud k pravé a levé vstupní komoře EKA I. Za "T" kus je připojeno potrubí DN 65 pro plnění kotle kondenzátem z TG nebo DEMI vodou. Čerpadlo s výkonem 500 l/min pro plnění kotle je umístěno v alkalizační místnosti kotle č. 3.

4.2.2. Ohřívák vody

Ohřívák vody neboli ekonomizér je první výhřevnou plochou v parovodním traktu kotle. V parním kotli G 230 jsou umístěny dva ekonomizéry v zadním tahu. Tok napájecí vody je rozdělen na dvě samostatné větve spojující se v napájecím žlabu kotelního bubnu.



Obrázek 4.2 Uspořádání ohříváků vody [11]

Ekonomizér I			
	Rozměry [mm]	Materiál	Počet[ks]
Komory	194/24 x 5342	12 022.1	2 x 2
Hady	32 x 5	12 022.1	2 x 110
Ekonomizér II			
Komory	194 x 25	12 022.1	2
Hady	32 x 4	12 022.1	116
Závěsy	32 x 4	15 110.5	116

Tabulka 4.2 Parametry ohříváků vody

4.2.3. Výparník

Kotel G 230 disponuje přirozenou cirkulací kotelní vody (cirkulační číslo - 7) s odpařovacím systémem, který tvoří:

- kotelní válec – buben,
- zavodňovací potrubí,
- komorový rám s odvodněním,
- výparník.

Napájecí voda je do bubnu přivedena 8 trubkami ústícími do napájecího žlabu. Ze dna bubnu ústí tzv. první stupeň tvořený 8 zavodňovacími trubkami (střední část) a tzv. druhý stupeň tvořený čtyřmi trubkami (krajní části). Oba stupně vnějškem zavodňují komory kotle a ve spodní části spalovací komory vytváří komorový rám. Z něho vytéká kotelní voda do varných trubek - várníc, kde vlivem značného příkonu tepla dochází k postupnému odpařování. Z várníc, spojujících se v párech před bubnem v jednu vstupuje pára, která ještě obsahuje určité množství vody, do odděleného prostoru v bubnu. Z tohoto prostoru, kde prochází přes soustavu cyklónů a jsou zde oddělovány kapičky vody, vystupuje téměř sytá pára do parního prostoru bubnu. Přes systém žaluzií (prádlo) je v horní části bubnu odváděna parovody do přehříváků.

4.2.4. Kotlové těleso

Pro přehlednost jsou údaje o kotlovém tělese uvedeny v tabulce.

Název	Hodnota
Celková délka	11700 [mm]
Vnější průměr	1800 [mm]
Tloušťka stěny	85 [mm]
Hmotnost včetně vestavby	45000 [kg]
Materiál bubnu	13 123.1
Celkový objem	23,12 [m ³]

Tabulka 4.3 Parametry kotlového tělesa

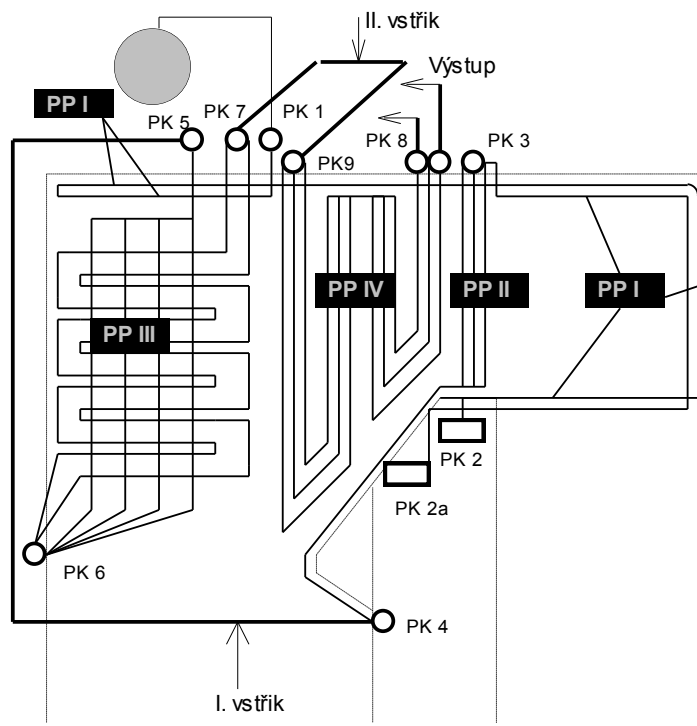
Kotlové těleso je zakončeno polokulovitými čely. Napájecí voda je do bubnu přivedena z horní části osmi trubkami, které ústí do napájecího žlabu.

4.2.5. Přehřívák páry

Přehřívák páry u kotle typu G 230 je ze 4 dílů tvořených kombinováním sálavých a konvekčních ploch. Pára je téměř bez tlakového rozdělení (nedělené komory) vedena a měřena v pravé a levé větvi. Mezi druhým a třetím přehřívákem je pára z PK 4 do PK 5 vyvedena vnějším parovodem, do kterého je zaústěn první vstřík. Na výstup z třetího přehříváku páry je pomocí vnějších parovodů provedeno překřížení pravé a levé větve a záměnou vstupní komory PK 8 za PK 9 změněn směr proudění čtvrtého přehříváku na souproud. Do vnějších parovodů je zároveň zaústěn druhý vstřík. Výstupní komory PK 8 jsou dvě a konstrukčně je čtvrtý přehřívák z důvodů rovnoměrného proudění páry řešen jako "Z" výstup.

Přehřívák	Délka hadů [m]	Teplosměnná plocha [m]
I	4172	526
II	3920	391
III	6444	926
IV	5793	633

Tabulka 4.4 Parametry přehříváků



Obrázek 4.3 Uspořádání přehříváků páry [11]

4.2.6. Mlýnské okruhy

Instalované kotle v EOP mají tlukadlové mlýny s přímým foukáním uhlénoho prášku do spalovací komory. Každý kotel má 4 mlýnské okruhy, přičemž pro plný výkon postačují pouze 3 mlýny, (platí v případě spalování vyhovujícího paliva - průměr 14,5 MJ/kg). Mlýnský okruh se skládá z těchto částí:

- podavače s uhlíkovou svodkou a zásobníkem paliva,
- sušky se vstupní skříní,
- vzduchovody,
- vlastní mlýny,
- třídící šachta s vestavbou,
- ambrazura.

Specifikace stávajících mlýnů pro kotel G 230:

Parametr	Hodnota
Maximální výkon mlýna	28 t.h ⁻¹
Mlecí práce	10 – 12 kWh.t ⁻¹
Otáčky rotoru	980 ot.min ⁻¹
Počet tlukadel	102 ks
Výkon el. Motoru	400 kW
Napětí el. Motoru	6,3 kV

Tabulka 4.5 Tlukadlový mlýn kotle G 230

4.2.7. Konstrukce

Nosná konstrukce je tvořena osmi hlavními nosnými sloupy a dvěma sloupy pomocnými. Všechny tyto sloupy jsou zakotveny 1800 mm dlouhými kotevními šrouby M 42 mm. Sloupy jsou dle pevnostního výpočtu mezi sebou propojeny příčely a nosníky.

Sloupy konstrukce spalovací komory jsou situovány v rozích spalovací komory jako základní nosné články kotelní konstrukce. Sloupy jsou svařované, křížového profilu. Celková výška sloupu je 34,930 m. Na kótě 7,992 m je provedeno obvodové propojení. Na kótě 17,790 m je provedeno boční propojení po obou stranách a čelní propojení. Na konci sloupů v úrovni 34,930 m je provedeno čelní propojení svařovaným nosníkem I - 1 900 mm. Na kótě 8,800 m je dvojité boční propojení nosníky I - 340 mm pro zakotvení stěn várníc. Na kótě 15,000 m je nosná konstrukce kotle propojena s nosnou konstrukcí plošiny.

Základní články celé konstrukce jsou dostatečně vzdáleny od spalovací komory, aby nedošlo k jejich vyhřátí a tím ke snížení pevnosti.

Nosná konstrukce zadního tahu je tvořena 4 základními sloupy, křížového složeného profilu. Tyto sloupy jsou situovány v rozích dodatkových ploch. Mimo tyto sloupy jsou v konstrukci dodatkových ploch ještě dva pomocné, které jdou až do úrovně 17,080 m. Propojení na konstrukci spalovací komory je provedeno pouze v úrovni společných plošin a ochozů a to vesměs profily I - 160 mm a I - 320 mm.

4.2.8. Vzduchový trakt

Spalovací vzduch dodávají dva rovnotlaké axiální ventilátory se součtovým výkonem 140-150% jmenovitého výkonu kotle. Na kótě 42 m je vzduch nasáván v závislosti na venkovní teplotě z vnitřní nebo z vnější strany kotelní. Následně je nasávací šachtou vyveden na podlaží 8m, kde je rozdělen do sání ventilátoru. K regulaci teploty v sání ventilátorů na 60°C je na 15m zaústěno potrubí recirkulace, sloužící k zamezení dosažení rosného bodu v trubkovém ohříváku vzduchu. Na 5m před vstupem do LUVY I jsou vzduchovody (levý a pravý) propojeny a je odtud veden po obou stranách studený vzduch pro mlýny.

Dle místa spotřeby je horký vzduch o teplotě 410°C dělen na:

- pro každý mlýn:
 - Primární vzduch – vzduch pro sušení a dopravu uhelného prášku do kotle
 - Jádrový vzduch – zaveden přímo do ústí hořáků, pomáhá promíchání a zapálení směsi
 - Sekundární vzduch – přiveden do spalovací komory cca 2 m nad hořáky

- mezi odvody pro mlýnské okruhy je ze sběrných vzduchovodů odbočen:
 - Dohořivací vzduch – nejvyšší přívod vzduchu do spalovací komory
 - Terciární vzduch – zaveden do výsypky spalovací komory, v současnosti zavřený

Ohřívák vzduchu je tvořen dvoudílným LUVO I a jednodílným LUVO II. Všechny díly LUVA jsou trubkové. Oba díly LUVA I jsou uloženy na konzolách ocelové konstrukce dodatkových ploch. Každý díl LUVA má uprostřed dělicí vratnou stěnu a otočení proudu vzduchu se děje vždy ve střední nezatrubkované části.

4.2.9. Spalinový trakt

Na výsypku pod dodatkovými plochami jsou napojeny dva kouřovody svařené z plechu ČSN 10 370 o síle 5 mm. Uzavíracími orgány jsou žaluziové klapky. U kotle G230 je propojen levý a pravý kouřovod, díky čemuž lze provozovat kotel i pouze s jedním kouřovým ventilátorem. Kouřovody jsou vyztuženy profilovými výztuhami a opatřeny vlnovcovými dilatacemi z vnitřku proti abrazi krycími plechy. Po celé délce jsou izolovány.

Vodorovné kouřovody přecházejí za východní stěnou kotelný v šikmé vstupy do MO. Před ohybem mají na stěně vybudovány výsypky se šikmými svodkami. Nad sací skříní ventilátoru za MO a EO se 4 kouřové tahy spojují do dvou. Bezprostředně za výstupem z EO jsou namontovány dilatace ze sklotextilu.

Každý kouřový ventilátor je schopen pokrýt 60% jmenovitého výkonu kotle. Ventilátor ARC 1800 je axiální a rovnotlaký. Výtlaky kouřových ventilátorů jsou napojeny na ocelové kouřovody a lze je pomocí klapky přerazovat na odsířovací závod nebo do původních komínů. Základní provoz je na odsířovací závod.

4.3. Úpravy kotle provedené před změnou paliva

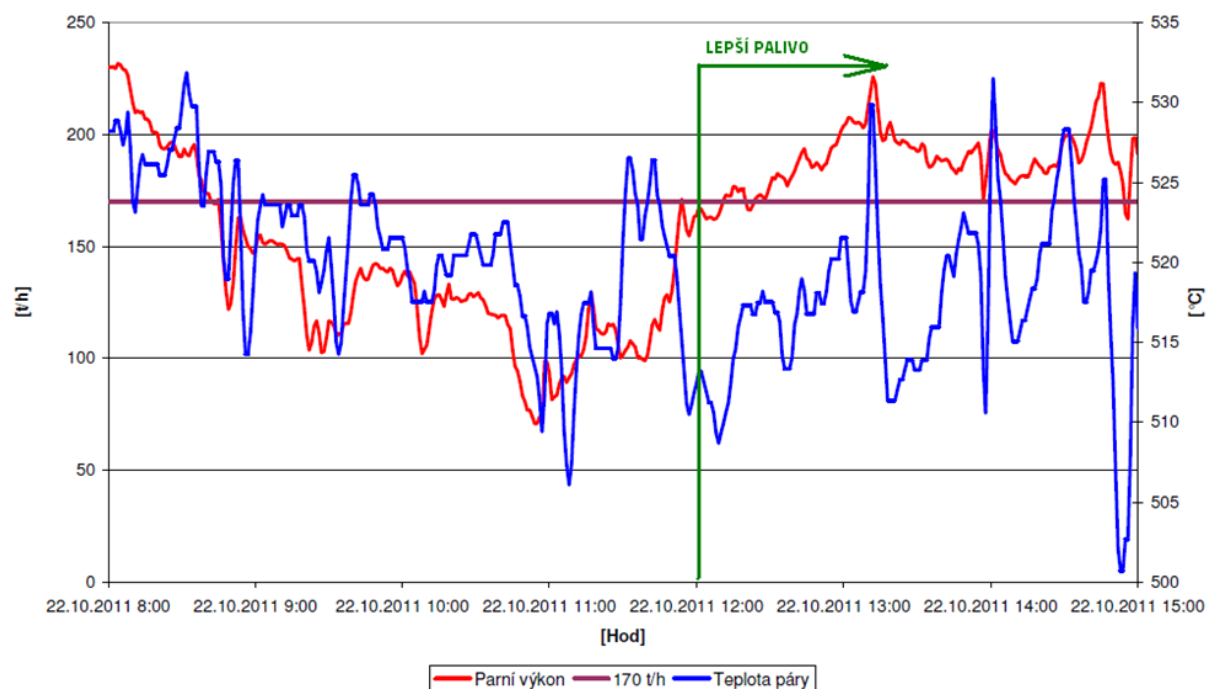
Od zahájení provozu po současnost prošel kotel řadou úprav a vylepšení. Z těch důležitějších v chronologickém sledu bylo nahrazení původních luceren řetězovým vynašečem strusky, čímž se zároveň zabránilo značnému přisávání vzduchu. Další úpravou prošel koncem 60. let čtvrtý přehřívák, který byl změněn z protiproudého na souproudý a byl u něho zaveden tzv. „Z“ výstup, což umožnilo provoz bez clonek v potrubí. Po roce 1992 byl na kotlích postupně instalován řídicí systém „ZAT CONTROL SYSTEM“ zajišťující všechny základní funkce řízení. Po roce 1998 se začalo spalovat výhřevnější palivo, které vedlo ke zlepšení ekonomiky provozu, mimo jiné i z důvodu nižších nákladů na dopravu paliva a ukládání popelovin. Výhřevnost spalovaného paliva, která se z provozního hlediska jevila ještě jako přijatelná, byla stanovena na $14 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Vyšší výhřevnost dovolila následně navýšit

jmenovitý výkon kotle na 250 t.h^{-1} . Po roce 2000 bylo zavedeno jednostupňové napájení, což vedlo ke snížení tlakové ztráty díky absenci diferenčního ventilu. Po roce 2006 byly ve spolupráci s VŠB – TUO provedeny úpravy za účelem snižování emisí NO_x a optimalizace provozu kotlů. Úprava spočívala v zúžení vzduchových kanálů, byla navržena nová Schmittova měřidla a nové deskové uzávěry primárních vzduchů. Tyto úpravy přispěly k výraznému zvýšení přesnosti měření primárních vzduchů, k významnému snížení emisí oxidů dusíku 350 na $250 \text{ mg.m}^{-3}_{\text{N}}$. Zároveň se snížil obsah spalitelných látek v popílku, a tím se zvedla i celková účinnost kotle.

5. Varianty možného řešení pro spalování nízkovýhřevného paliva

Kotel G230 byl vyprojektován a postaven na nízkovýhřevné hnědé uhlí s obsahem vody 34%. V pozdějším období byl upraven pro spalování mosteckého hnědého uhlí s výhřevností 14 MJ.kg^{-1} a obsah vody se pohyboval okolo 27%. Námi uvažované garantované nízkovýhřevné hnědé uhlí od společnosti MIBRAG má obsah vody 52%. Pro ověření možnosti spalování tohoto uhlí na kotlích byly provedeny spalovací zkoušky, na základě kterých byly zjištěny skutečnosti, které lze rozdělit na dva okruhy. První okruh souvisí se skladováním a dopravou surového uhlí. V zásobnících paliva docházelo k nalepování paliva na stěny a tvořily se klenby. Při dopravě paliva ze zásobníku do mlýna docházelo k nalepování paliva v redlerovém podavači, a tím k neúměrnému přetěžování pohonu, což vedlo k výpadkům přetížením. Druhý okruh problémů se týká vlastní přípravy paliva. Použití tlukadlových mlýnů a sušení horkým vzduchem se doporučuje do obsahu vody v palivu 35%. Pro paliva s vyšším obsahem vody je vhodnější použití ventilátorových mlýnů, kde sušení paliva probíhá recirkulací spalin. Při spalovací zkoušce byla zjištěna zbytková vlhkost uhelného prášku cca 35%. Spalovací zkouška byla provedena s ohledem na dosažení maximálního parního výkonu kotle. Při zkoušce docházelo ke kolísání parního výkonu. Parametry zkoušeného paliva se mohou pohybovat u výhřevnosti v rozsahu 9 – 11 MJ/Kg a u vody v rozsahu 45 – 55 %. Kolísání parního výkonu i měnící se palivo v průběhu zkoušky jsou znázorněny v grafu č. 5.1. Na kolísání výkonu mělo vliv více faktorů. Především se jednalo o nerovnoměrnou dodávku paliva způsobenou výše popsány potížemi se zásobníky a podavači. Dalším vlivem, který se podílel na kolísání výkonu kotle, byla funkce stávající třídící šachty, ve které docházelo k vytváření uhelného „mraku“. Nahromaděný uhlý prášek byl v různých intervalech provozem mlýnu přetlačen a došlo k jeho vyfouknutí do spalovací komory kotle. Při vytváření uhelného „mraku“ v třídící šachtě docházelo k poklesu parního

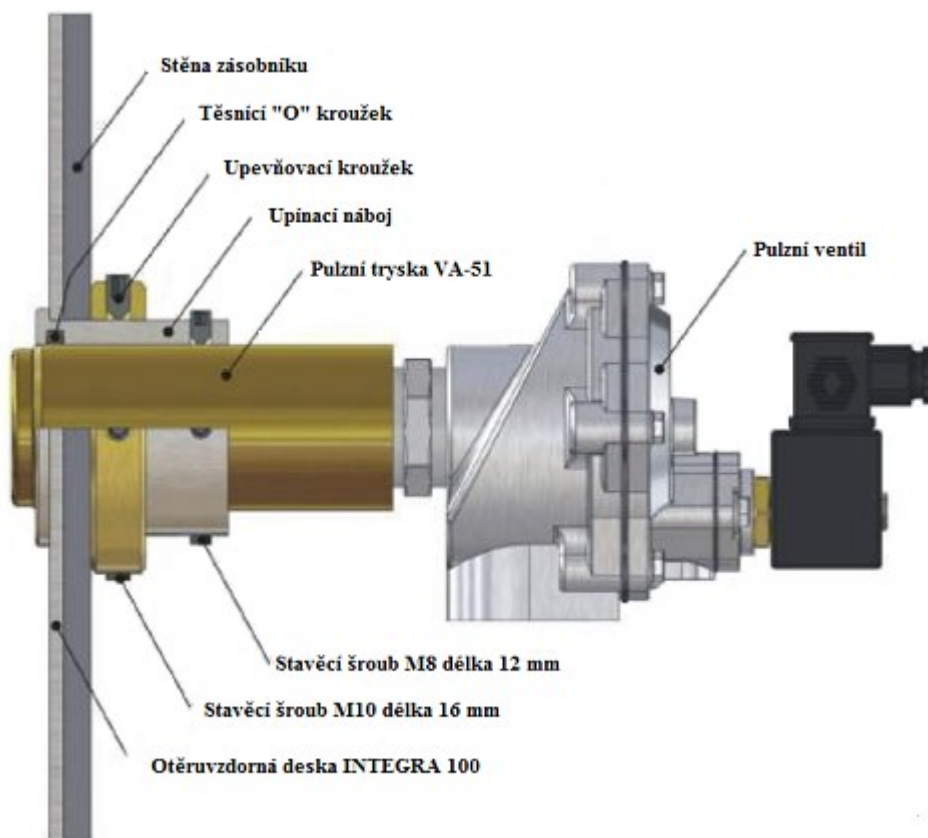
výkonu, a při vyfouknutí k náhlému nárůstu parního výkonu. Kolísání parního výkonu se pohybovalo v rozsahu 20 – 30 t/h.



Graf 5.1 Průběh parního výkonu a teploty páry kotle při palivové zkoušce [8]

5.1. Zásobníky paliva

Pro zajištění plynulého toku nízkovýhřevného paliva v zásobnících byl zvolen systém pulzních trysek Myrlen, znázorněný na obrázku č. 5.1. Práce pulzních trysek spočívá v narušování (odřezávání) ulpívajícího paliva krátkými pulzy tlakového vzduchu od stěn zásobníku. Tlak rozvodu vzduchu potřebný pro systém s pulzními tryskami je 0,4 - 1,0 MPa. Činnost pulzních trysek je řízena selenoidovými ventily. Krátká doba pulzu trysky cca 0,25 s snižuje spotřebu tlakového vzduchu. V závislosti na mechanicko-fyzikálních vlastnostech sypkého materiálu a provozních podmínkách je při jednom pulzu narušena vrstva materiálu v průměru až 2 m při přetlaku 0,7 MPa. Systém pulzních trysek se automaticky spouští při zapnutí podavače paliva a při otevřeném uhlenném uzávěru. Po obvodu spodní části zásobníku paliva je nainstalováno 60 pulzních trysek. Pulzní trysky jsou rozmístěny tak, aby se účinek jednotlivých trysek překrýval se sousedními tryskami. Systém pulzních trysek lze provozovat v ručním nebo automatickém režimu. Při ručním režimu lze spouštět jednotlivé trysky nejbližší místa nálepu nebo klenby. Systém pulzních trysek je již na zásobnících paliva v EOP nainstalován a při zkušebním provozu se osvědčil. [9]



Obrázek 5.1 Pulzní tryska včetně uchycení [9]

5.2. Podavače paliva

Pro bezproblémovou dopravu paliva do mlýna byly na podavačích provedeny následující úpravy. Na vnější stranu článků podavače, vždy po dvou střídavě, byly navařeny rozrušovací trny a stírací lišty, které mají zamezit nalepování paliva na dno podavače. Původní motor s variátorem o výkonu 7,5kW byl nahrazen silnějším motorem s frekvenčním měničem o výkonu 11kW. Nový motor a upravené články podavače jsou znázorněny na obrázku č. 5.2.



Obrázek 5.2 Nový motor s FM a podavač paliva s upravenými články

5.3. Mlýnský okruh

5.3.1. Varianta 1

Varianta 1 vychází z co nejnižších investičních nákladů. Na stávajících mlýnech a třídících by byly provedeny jen drobné úpravy. Sušení horkým vzduchem by bylo zachováno. Spolu s úpravami provedenými na zásobnících paliva a podavačích paliva by mělo být možno udržet provoz bez větších výkonových výkyvů v důsledku poruch v dodávkách paliva. Vlhkost uhelného prášku na vstupu do spalovací komory by se pohybovala okolo 35%, jak vyplynulo z provedených palivových zkoušek. Při této variantě by kotel dosahoval horší účinnosti a vyšších emisí. Celkový parní výkon v závislosti na okamžitých parametrech paliva by obtížně dosahoval původních hodnot jmenovitého výkonu kotle. [7] [9]

5.3.2. Varianta 2

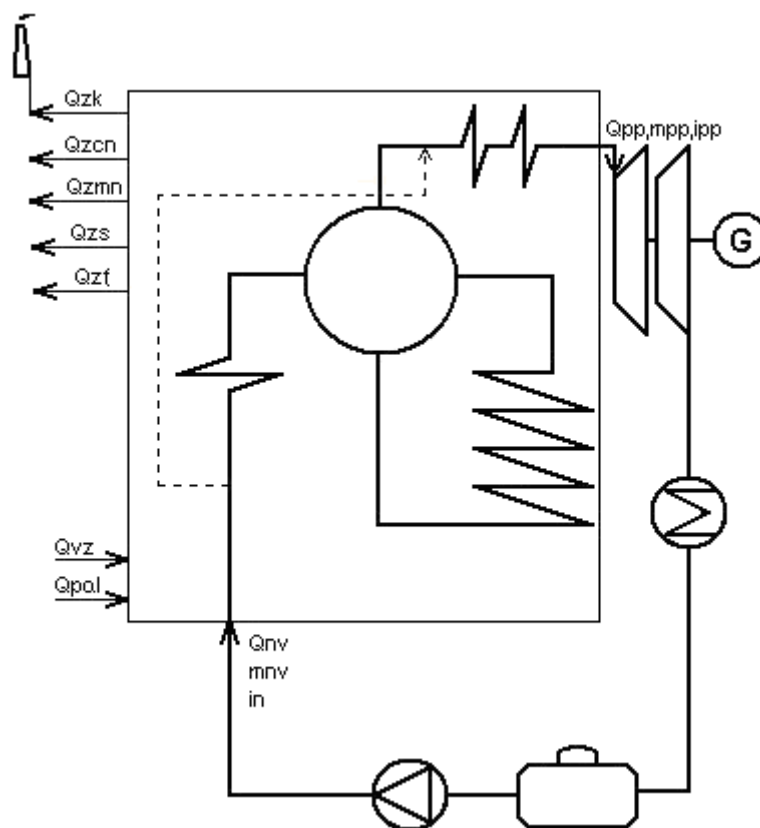
Při druhé variantě by zůstaly zachovány stávající tlukadlové mlýny. Sušení by probíhalo recirkulací spalin odebíraných z obrátové komory kotle. Vzhledem k nízkému ventilačnímu účinku tlukadlového mlýna by recirkulace spalin byla zajištěna pomocí přídavného ventilátoru. Nová by rovněž byla i sušící izolovaná šachta provedená z materiálu odolného vůči působení vyšších teplot. Systém MO by byl rovněž doplněn o potrubí regulačního vzduchu. Původní tříděč by byl nahrazen novým obrátovým tříděčem, který umožňuje lepší nastavení jemnosti mletí. Použití recirkulovaných spalin jako sušícího média nám umožní lepší vysušení paliva při mletí. Dalším výhodou použití recirkulovaných spalin jako sušícího a nosného média je zvýšení mlecího výkonu mlýnů. Celkový dosahovaný parní výkon kotle tedy může být vyšší než u varianty 1. [7] [9]

5.3.3. Varianta 3

Třetí varianta spočívá v kompletní výměně stávajících mlýnských okruhů s tlukadlovými mlýny za mlýny ventilátorové. Sušícím a nosným médiem budou recirkulované spaliny odebírané na konci spalovací komory. Vzhledem k místu odběru bude teplota recirkulovaných spalin vyšší než v druhé variantě. Budou použity nové vyžděné sušící šachty a nové izolované potrubí regulačního vzduchu. Na ventilátorový mlýn by navazoval obrátový tříděč pro lepší regulaci jemnosti mletí. Použití ventilátorových mlýnů u hnědého uhlí s obsahem vody nad 35%, je dnes obecně doporučováno jako jediné a nejlepší technické řešení. Při třetí variantě by kotel dosahoval nejlepší účinnosti i emisních hodnot. Předpokládané investiční náklady jsou u třetí varianty nejvyšší, ale z dlouhodobého hlediska se vyplatí. Pro výše uvedené skutečnosti jsem se u své diplomové práce rozhodl pro tuto variantu. [7] [9]

6. Výpočet účinnosti kotle

6.1. Vymezení soustavy



Obrázek 6.1 Schéma vymezení soustavy

- Q_{nv} - teplo přivedené v napájecí vodě
 m_{nv} - množství napájecí vody
 i_{nv} - entalpie napájecí vody
 Q_{pp} - teplo odvedené v páře
 m_{pp} - množství páry
 i_{pp} - entalpie páry
 Q_{vz} - teplo přivedené spalovacím vzduchem (neohřívá se mimo vymezenou soustavu)
 Q_{pal} - teplo přivedené palivem (neohřívá se mimo vymezenou soustavu)
 Q_{zk} - komínová ztráta
 Q_{zcn} - ztráta chemickým nedopalem
 Q_{zmn} - ztráta mechanickým nedopalem
 Q_{zs} - ztráta sáláním
 Q_{zf} - ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků

6.2. Výpočet účinnosti

Vstřiky neuvažujeme, protože jsou uvnitř soustavy. Odluh a odkal neuvažujeme, protože se používá jen mimořádně při zhoršení chemických hodnot.

Účinnost kotle stanovíme jako poměr rozdílu veškeré energie přivedené zevně do parního kotle a úhrnu ztrát energie v parním kotli, k příkonu tj. veškeré energii přivedené zevně do parního kotle, nebo jako rozdíl 1 a poměru ztrát k příkonu.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{pr} - \dot{Q}_z}{\dot{Q}_{pr}} = 1 - \frac{\dot{Q}_z}{\dot{Q}_{pr}} [\%] \quad (1)$$

\dot{Q}_{pr} – teplo přivedené (příkon) [W]

\dot{Q}_z – tepelné ztráty [W]

Při výpočtu účinnosti kotle bylo postupováno podle normy ČSN 07 0302 [10] pro jmenovitý výkon kotle, včetně použitého značení a názvosloví. Výpočet byl proveden pomocí programu EXCEL a je součástí přílohy. Potřebné hodnoty pro výpočet jsou uvedeny v tab. 6.1.

Hodnoty potřebné pro výpočet	
Jmenovitý výkon kotle	178 [MW]
Obsah O ₂ ve spalínách	4,2 [%]
Teplota tuhých zbytků	600 [°C]
Teplota spalin	170 [°C]
Naměřený objemový podíl CO ve spalínách	0,000137 [m ³ ·m ⁻³]
Hmotnostní podíl uhlíku ve škváře	1,55 [%]
Hmotnostní podíl uhlíku v popílku	0,9 [%]
Hmotnostní podíl složky tuhých zbytků ve škváře	15 [%]
Hmotnostní podíl složky tuhých zbytků v popílku	85 [%]

Tabulka 6.1 Výchozí hodnoty pro výpočet

6.3. Hmotnostní bilance spalování

1/ Složení paliva se uvádí pro palivo vstupující do sledované soustavy.

- výhřevnost Q_i^r
- obsah vody W_t^r
- obsah popela A^r
- obsah hořlaviny DAF^r

$$W_t^r + A^r + DAF^r = 1 [1] \quad (2)$$

2/ Pro přesnější výpočty spalovacích pochodů a výpočty přenosu tepla se musí uvádět také prvkový rozbor, buď paliva vstupujícího do sledované soustavy, nebo hořlaviny. Prvky tvořící hořlavinu jsou H, C, S, N, O.

6.3.1. Přepočet paliva na surový stav

Pro výpočet musíme znát prvkové složení paliva. Hořlavé složky v 1 kg paliva jsou určeny prvkovým složením hořlaviny.

$$C^{daf} + H^{daf} + S^{daf} + O^{daf} + N^{daf} = 1 \quad [1] \quad (3)$$

V surovém stavu s obsahem balastu, tj. obsahem vody W^r a popela A^r .

$$C^r + H^r + S^r + O^r + N^r + W^r + A^r = 1 \quad [1] \quad (4)$$

Garantované palivo - MIBRAG		
Výhřevnost	Q_i^r	10 [MJ·kg ⁻¹]
Voda	W_t^r	52 [% _{hmot}]
Popel	A^d	22,9 [% _{hmot}]
Obsah uhlíku v hořlavině	C^{daf}	78,38 [%]
Obsah vodíku v hořlavině	H^{daf}	5,19 [%]
Obsah dusíku v hořlavině	N^{daf}	0,82 [%]
Obsah kyslíku v hořlavině	O^{daf}	10,74 [%]
Obsah síry v hořlavině	S^{daf}	4,87 [%]

Tabulka 6.2 Palivo MIBRAG

Z prvkového složení hořlaviny přepočteme obsahy jednotlivých prvků na surový stav.

Obsah popela v surovém stavu

$$A^r \cdot A^d \cdot (1 - W^r) = 0,229 \cdot (1 - 0,52) = 0,11 \quad [1] \quad (5)$$

$$A^r = 0,11 \cdot 100 = 11 \quad [\%]$$

Ostatní složky

$$C^r = C^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 0,784 \cdot (1 - 0,52 - 0,11) = 0,29 \quad [1] \quad (6)$$

$$C^r = 0,29 \cdot 100 = 29 \quad [\%]$$

$$H^r = H^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 0,0519 \cdot (1 - 0,52 - 0,11) = 0,019 \quad [1] \quad (7)$$

$$H^r = 0,019 \cdot 100 = 1,9 \quad [\%]$$

$$N^r = N^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 0,0082 \cdot (1 - 0,52 - 0,11) = 0,003 \quad [1] \quad (8)$$

$$N^r = 0,003 \cdot 100 = 0,3 \quad [\%]$$

$$O^r = O^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 0,1074 \cdot (1 - 0,52 - 0,11) = 0,0395 \quad [1] \quad (9)$$

$$O^r = 0,0395 \cdot 100 = 3,95 \quad [\%]$$

$$S^r = S^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) = 0,0487 \cdot (1 - 0,52 - 0,11) = 0,018 [1] \quad (10)$$

$$S^r = 0,018 \cdot 100 = 1,8 [\%]$$

Exponenty:

r surový stav

daf hořlavina (palivo bez vody a popela)

d sušina

6.3.2. Kontrola výhřevnosti vzorku paliva

Kontrola stanovené výhřevnosti paliva se provádí porovnáním kalorimetricky stanovené výhřevnosti s výhřevností stanovenou z prvkového rozboru podle Mendělejevova vzorce.

Výpočet výhřevnosti podle Mendělejeva

$$Q_{iM}^r = 339 \cdot C^r + 1030 \cdot H^r - 109 \cdot (O^r - S^r) - 24,5 \cdot W_t^r [kJ \cdot kg^{-1}] \quad (11)$$

$$Q_{iM}^r = 339 \cdot 29 + 1030 \cdot 1,92 - 109 \cdot (3,97 - 1,8) - 24,5 \cdot 52 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

$$Q_{iM}^r = 10298 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

$$Q_{iM}^r - Q_i^r = 298 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

Rozdíl takto stanovených výhřevností se nemá lišit více než $\pm 630 [kJ \cdot kg^{-1}]$, což vyhovuje.

6.3.3. Výpočet stechiometrického objemu spalovacího vzduchu a vzniklých spalín

Minimální objem suchého vzduchu

$$V_{vs \min} = \frac{22,39}{0,2095} \cdot \left[\frac{C^r}{12,011} + \frac{H^r}{4,032} + \frac{S^r}{32,066} - \frac{O^r}{32,00} \right] [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (12)$$

$$V_{vs \min} = \frac{22,39}{0,2095} \cdot \left[\frac{0,290}{12,011} + \frac{0,019}{4,032} + \frac{0,018}{32,066} - \frac{0,0397}{32,00} \right] [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

$$V_{vs \min} = 3,017 [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

Minimální objem suchých spalín vztažených na 1 kg paliva

$$V_{ss \min} = \frac{22,26}{12,011} \cdot C^r + \frac{21,89}{32,066} \cdot S^r + \frac{22,40}{28,016} \cdot N^r + 0,7905 \cdot V_{vs \min} [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (13)$$

$$V_{ss \min} = \frac{22,26}{12,011} \cdot 0,29 + \frac{21,89}{32,066} \cdot 0,018 + \frac{22,40}{28,016} \cdot 0,003 + 0,7905 \cdot 3,017 [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

$$V_{ss \min} = 2,937 [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

Vodní páry ve spalínách

$$V_{sH_2O \min} = 11,1111 \cdot H^r + 1,2433 \cdot W^r + (\nu - 1) \cdot V_{vs \min} [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (14)$$

$$V_{sH_2O \min} = 11,1111 \cdot 0,019 + 1,2433 \cdot 0,52 + (1,016 - 1) \cdot 3,017 = 0,908 [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

Součinitel respektující zvětšení objemu suchého vzduchu v důsledku vlhkosti

(při $t = 20 [^{\circ}C]$, $p = 98,45 [kPa]$ a $\phi = 65 [\%]$) $\nu = 1,016 [1]$.

Složky stechiometrických objemů pro dokonalé spalování

Složení suchého spalovacího vzduchu

$$V_{vCO_2} = 0,0003 \cdot V_{vs \min} = 0,0003 \cdot 3,017 = 0,00091 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (15)$$

$$V_{vN_2} = 0,7809 \cdot V_{vs \min} = 0,7809 \cdot 3,017 = 2,356 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (16)$$

$$V_{vAr} = 0,0093 \cdot V_{vs \min} = 0,0093 \cdot 3,017 = 0,028 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (17)$$

Stechiometrické objemy jednotlivých složek v suchých spalínách pro dokonalé spalování

$$V_{sCO_2} = \frac{22,26}{12,011} \cdot C^r = 1,853 \cdot 0,290 = 0,538 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (18)$$

$$V_{sSO_2} = \frac{21,89}{32,066} \cdot S^r = 0,6827 \cdot 0,018 = 0,0123 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (19)$$

$$V_{sN_2} = \frac{22,40}{28,016} \cdot N^r = 0,7995 \cdot 0,003 = 0,00243 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (20)$$

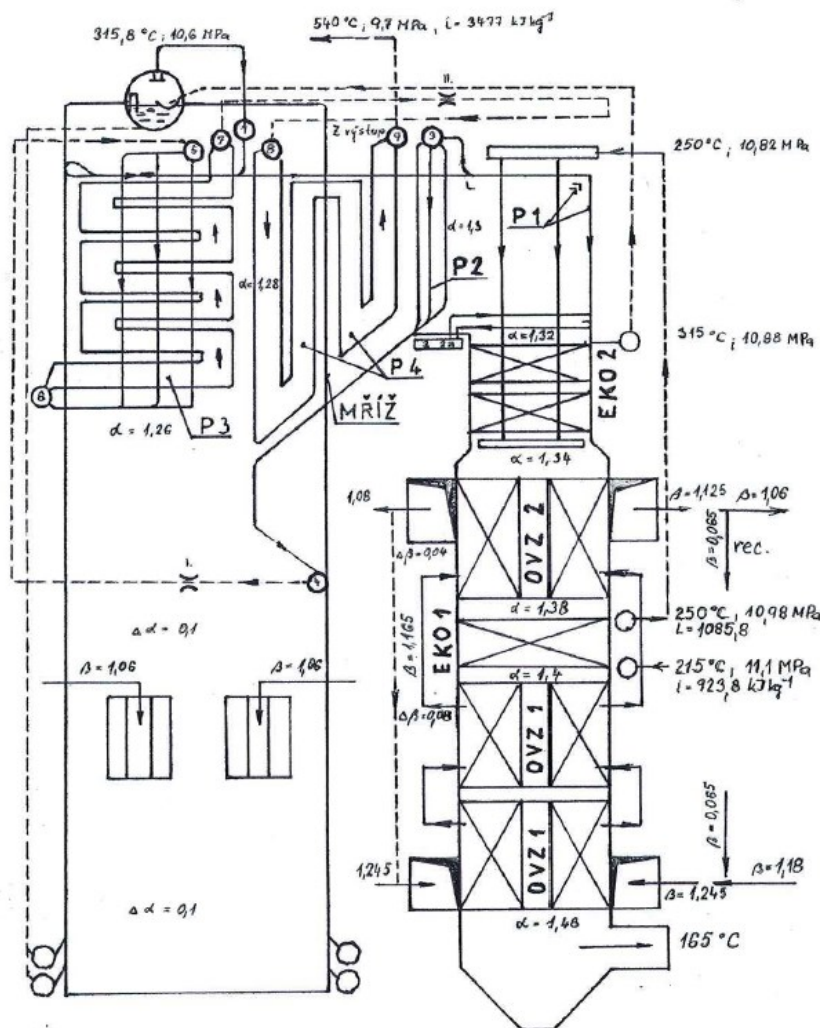
Dále pro nedokonalé spalování platí:

$$V_{sCO} = \frac{22,41}{12,011} \cdot C^r = 1,8658 \cdot 0,290 = 0,5411 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (21)$$

$$V_{O_2(C)} = \frac{22,39}{12,011} \cdot C^r = 1,8641 \cdot 0,290 = 0,5407 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (22)$$

6.4. Parametry spalín při nedokonalém spalování

Ve spalovacích zařízeních se spaluje palivo s větším množstvím vzduchu, než je vypočítaný teoretický objem. Skutečný objem přivedeného vzduchu se vyjadřuje součinitelem přebytku vzduchu α . Ale ani se zvýšeným průtokem spalovacího vzduchu není možné zajistit dokonalé vyhoření paliva. Bilanci vzduchu znázorňuje obr. 6.2.



Obrázek 6.2 Bilance vzduchu

$$\alpha = \frac{V_v}{V_{v \min}} = \frac{V_{vs}}{V_{vs \min}} \quad [1] \quad (23)$$

$$V_v \quad - \text{Objem vzduchu [m}^3\text{]}$$
$$V_{v \min} \text{ - Teoretický objem vzduchu [m}^3\text{]}$$
$$V_{vs} \quad - \text{Objem suchého vzduchu [m}^3\text{]}$$
$$V_{vs\ min} - \text{Teoretický objem suchého vzduchu [m}^3\text{]}$$

Pro další výpočty předpokládáme, že:

- podíl b v $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ uhlíku neshoří vůbec a odchází ze spalovacího zařízení společně s tuhými zbytky (škvára, popílek, úlet),
- podíl a_1 v $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ uhlíku shoří nedokonale na plynnou složku CO.

Výpočet těchto základních parametrů spalin charakterizujících dokonalost spalovacího procesu se provede na základě vyhodnocení naměřených objemových podílů složek plynů v suchých spalinách ($\omega_{RO_2}, \omega_{CO}$) v příslušném řezu spalinového traktu. V tab. 6.3 je uveden podíl obsahu uhlíku C_i v jednotlivých složkách tuhých zbytků (i – škvára, popílek apod.) a X_i označuje hmotnostní podíl složky tuhých zbytků.

Tuhé zbytky	X_i	C_i
Škvára	0,15	0,0155
Popílek	0,85	0,009

Tabulka 6.3 Tuhé zbytky

$$b = \frac{A^r}{C^r} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot X_i}{1 - C_i} [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (24)$$

$$b = \frac{0,110}{0,290} \cdot \left(\frac{0,0155 \cdot 0,15}{1 - 0,0155} + \frac{0,009 \cdot 0,85}{1 - 0,009} \right) = 0,003822 [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

$$\alpha = \frac{R4 \cdot \omega_{O_2} + R5 \cdot \omega_{CO} + R6}{R1 \cdot \omega_{O_2} + R2 \cdot \omega_{CO} + R3} [1] \quad (25)$$

$$\alpha = \frac{-0,0432 \cdot 0,042 - 0,151 \cdot 0,000137 + 0,3409}{-1,6326 \cdot 0,042 + 0,6424 \cdot 0,000137 + 0,342} = 1,24 [1]$$

$$a_1 = \frac{R7 \cdot \omega_{CO}}{R1 \cdot \omega_{O_2} + R2 \cdot \omega_{CO} + R3} [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (26)$$

Objemový podíl O_2 a CO v suchých spalinách

$$\omega_{O_2} = 0,042 [\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$$

$$\omega_{CO} = 0,000137 [\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}]$$

$$a_1 = \frac{1,8503 \cdot 0,000137}{-1,6326 \cdot 0,042 + 0,6424 \cdot 0,000137 + 0,3420} = 0,000927 [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Výpočet konstant

$$R1 = -V_{vs \min} \cdot V_{SCO} = -3,017 \cdot 0,54114 = -1,6326 [1] \quad (27)$$

$$R2 = V_{vs \min} \cdot (0,5 \cdot V_{O_2}(C) - 0,2095 \cdot V_2) [1] \quad (28)$$

$$R2 = 3,017 \cdot (0,5 \cdot 0,54065 - 0,2095 \cdot 0,2739) = 0,6424 [1]$$

$$R3 = 0,2095 \cdot V_{vs \min} \cdot V_{SCO} = 0,2095 \cdot 3,017 \cdot 0,54114 = 0,3420 [1] \quad (29)$$

$$R4 = V_{SCO} \cdot (V_1 + b \cdot V_3) = 0,5411 \cdot (-0,0798 + 0,00382 \cdot 0,0031) = -0,0432 [1] \quad (30)$$

$$R5 = V_2 \cdot (b \cdot V_{O_2}(C) - 0,2095 \cdot V_{vs \min}) - 0,5 \cdot V_{O_2}(C) \cdot (V_1 + b \cdot V_3) [1] \quad (31)$$

$$R5 = 0,2739 \cdot (0,003822 \cdot 0,54065 - 0,2095 \cdot 3,017) - \\ - 0,5 \cdot 0,54065 \cdot (0,0798 + 0,003822 \cdot 0,0031) = 0,1510 [1]$$

$$R6 = V_{SCO} \cdot (0,2095 \cdot V_{vs \min} - b \cdot V_{O_2}(C)) [1] \quad (32)$$

$$R6 = 0,54114 \cdot (0,2095 \cdot 3,017 - 0,003822 \cdot 0,54065) = 0,3409 [1]$$

$$R7 = V_{vs \min} \cdot (0,2095 \cdot (V_1 + b \cdot V_3) + 0,2095 \cdot V_{vs \min} - b \cdot V_{O_2}(C)) [1] \quad (33)$$

$$R7 = 3,017 \cdot (0,2095 \cdot (-0,0798 + 0,003822 \cdot 0,0031) + \\ + 0,2095 \cdot 3,017 - 0,003822 \cdot 0,54065) = 1,8503 [1]$$

$$V_1 = V_{ss \min} - V_{vs \min} = 2,937 - 3,017 = -0,0798 [1] \quad (34)$$

$$V_2 = V_{SCO} + 0,5 \cdot V_{O_2}(C) - V_{SCO_2} = 0,54114 + 0,5 \cdot 0,54065 - 0,53751 [1] \quad (35)$$

$$V_2 = 0,2739 [1]$$

$$V_3 = V_{O_2}(C) - V_{SCO_2} = 0,54065 - 0,53751 = 0,0031 [1] \quad (36)$$

6.4.1. Součinitel přebytku vzduchu za parním kotlem

$$\alpha_k = \frac{(R7 - a_1 \cdot R2) \cdot (R4 \cdot (\omega_{O_2})_k + R6) + a_1 \cdot R5 \cdot (R1 \cdot (\omega_{O_2})_k + R3)}{(R7 - a_1 \cdot R2) \cdot (R1 \cdot (\omega_{O_2})_k + R3) + a_1 \cdot R2 \cdot (R1 \cdot (\omega_{O_2})_k + R3)} [1] \quad (37)$$

$$\alpha_k = \frac{(1,8503 - 0,000927 \cdot 0,6424) \cdot (-0,0432 \cdot 0,042 + 0,3409) + \\ + (1,8503 - 0,000927 \cdot 0,6424) \cdot (-1,6326 \cdot 0,042 + 0,3420) + \\ + 0,000927 \cdot (-0,151) \cdot (-1,6326 \cdot 0,042 + 0,3420)}{+ 0,000927 \cdot 0,6424 \cdot (-1,6326 \cdot 0,042 + 0,3420)} = 1,24 [1]$$

6.4.2. Objem spalín vzniklých spálením 1kg paliva v místě na odchodu z PK

$$V_{ss} = V_{ss \min} + a_1 \cdot (V_{SCO} + 0,5 \cdot V_{O_2}(C) - V_{SCO_2}) + b \cdot (V_{O_2}(C) - V_{SCO_2}) + \\ + (\alpha_k - 1) \cdot V_{vs \min} [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (38)$$

$$V_{ss} = 2,937 + 0,000927 \cdot (0,54114 + 0,5 \cdot 0,54065 - 0,5375) + \\ + 0,003822 \cdot (0,54065 - 0,53751) + (1,24 - 1) \cdot 3,017 = 3,6602 [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

6.4.3. Objem vlhkých spalín

$$V_{sH_2O} = V_{sH_2O \min} + (\alpha_k - 1) \cdot (v - 1) \cdot V_{vs \min} [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (39)$$

$$V_{sH_2O} = 0,908 + (1,24 - 1) \cdot (1,016 - 1) \cdot 3,017 = 0,9197 [m^3 \cdot kg^{-1}]$$

$$V_s = V_{ss} + V_{sH_2O} = 3,6602 + 0,9197 = 4,580 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (40)$$

6.4.4. Střední měrná tepelná kapacita spalín

Střední měrná tepelná kapacita spalín při teplotě t [°C] je dána následující rovnicí.

$$\bar{c}_s(t_k) = \frac{\left(A \cdot (t_k + 273) + B + \frac{C}{t_k + 273}\right)}{V_s} [kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}] \quad (41)$$

$$\bar{c}_s(t_k) = \frac{\left(0,0008 \cdot (170 + 273) + 6,5197 + \frac{-21,0302}{170 + 273}\right)}{4,580} = 1,4918 [kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$$

$$\bar{c}_s(t_0) = \frac{\left(A \cdot (t_0 + 273) + B + \frac{C}{t_0 + 273}\right)}{V_s} [kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}] \quad (42)$$

$$\bar{c}_s(t_0) = \frac{\left(0,0008 \cdot (20 + 273) + 6,5197 + \frac{-21,0302}{20 + 273}\right)}{5,700} = 1,4599 [kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$$

$$\bar{c}_s = \frac{\bar{c}_s(t_k) \cdot t_k - \bar{c}_s(t_0) \cdot t_0}{t_k - t_0} [kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}] \quad (43)$$

$$\bar{c}_s = \frac{1,4918 \cdot 170 - 1,4599 \cdot 20}{170 - 20} = 1,49609 [kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$$

Výpočet pomocných konstant A, B, C závislých na α_k , potřebných pro výpočet střední měrné tepelné kapacity spalín.

$$A = A_0 + \alpha_k \cdot A_a = 0,0003 + 1,24 \cdot 0,0004 = 0,0008 [1] \quad (44)$$

$$B = B_0 + \alpha_k \cdot B_a = 1,6048 + 1,24 \cdot 3,9650 = 6,5197 [1] \quad (45)$$

$$C = C_0 + \alpha_k \cdot C_a = 15,2544 + 1,24 \cdot (-4,6595) = 21,0302 [1] \quad (46)$$

Pro známé složení spalín je možné jednotlivé konstanty rozepsat

$$\begin{aligned} A_0 = & \left((1 - a_1 - b) \cdot V_{sCO_2} + V_{vCO_2} \right) \cdot A1 + V_{sSO_2} \cdot A2 + (V_{sN_2} + V_{vN_2}) \cdot A3 + \\ & + V_{vAr} \cdot A4 + V_{sH_2O} \cdot A5 + A^r \cdot (1 - X_{sk}) \cdot A7 - V_{vs \min} (A6 + (v - 1) \cdot A5) + \\ & + (0,5 \cdot a_1 + b) \cdot V_{O_2}(C) \cdot A8 + a_1 \cdot V_{sCO} \cdot A9 [1] \end{aligned} \quad (47)$$

$$A_0 = 0,0003 [1]$$

$$\begin{aligned} B_0 = & \left((1 - a_1 - b) \cdot V_{sCO_2} + V_{vCO_2} \right) \cdot B1 + V_{sSO_2} \cdot B2 + (V_{sN_2} + V_{vN_2}) \cdot B3 + \\ & + V_{vAr} \cdot B4 + V_{sH_2O} \cdot B5 + A^r \cdot (1 - X_{sk}) \cdot B7 - V_{vs \min} (B6 + (v - 1) \cdot B5) + \\ & + (0,5 \cdot a_1 + b) \cdot V_{O_2}(C) \cdot B8 + a_1 \cdot V_{sCO} \cdot B9 [1] \end{aligned} \quad (48)$$

$$B_0 = 1,6048 [1]$$

$$\begin{aligned} C_0 = & \left((1 - a_1 - b) \cdot V_{sCO_2} + V_{vCO_2} \right) \cdot C1 + V_{sSO_2} \cdot C2 + (V_{sN_2} + V_{vN_2}) \cdot C3 + \\ & + V_{vAr} \cdot C4 + V_{sH_2O} \cdot C5 + A^r \cdot (1 - X_{sk}) \cdot C7 - V_{vs \min} (C6 + (v - 1) \cdot C5) + \end{aligned}$$

$$+(0,5 \cdot a_1 + b) \cdot V_{O_2}(C) \cdot C_8 + a_1 \cdot V_{SCO} \cdot C_9 [1] \quad (49)$$

$$C_0 = 15,2544 [1]$$

$$A_a = V_{vs \min} \cdot (A_6 + (v - 1) \cdot A_5) = 0,0004 [1] \quad (50)$$

$$B_a = V_{vs \min} \cdot (B_6 + (v - 1) \cdot B_5) = 3,9650 [1] \quad (51)$$

$$C_a = V_{vs \min} \cdot (C_6 + (v - 1) \cdot C_5) = 4,6595 [1] \quad (52)$$

Koeficienty A(I), B(I), C(I), složek spalín a vzduchu				
I	Složka	A(I)	B(I)	C(I)
1	CO ₂	$2,5903118 \cdot 10^{-4}$	2,0121359	-47,7836646
2	SO ₂	$1,7911607 \cdot 10^{-4}$	2,1566289	-43,4660944
3	N ₂	$1,1365887 \cdot 10^{-4}$	1,2827182	-0,0390503
4	A _r	$1,033607 \cdot 10^{-7}$	0,9281643	+0,3719149
5	H ₂ O	$2,5070785 \cdot 10^{-4}$	1,4643053	+6,6195562
6	Studený vzduch	$1,2065266 \cdot 10^{-4}$	1,2907768	-1,6503075
7	Popel	$3,1337938 \cdot 10^{-4}$	0,6756903	+2,7077545
8	O ₂	$1,1490349 \cdot 10^{-4}$	1,3830632	-13,6303648
9	CO	$2,5903118 \cdot 10^{-4}$	1,2992527	-3,3037630

Tabulka 6.4 Koeficienty [10]

6.5. Výpočet účinnosti

$$\eta = 1 - \zeta_{CO} - \zeta_C - \zeta_k - \zeta_f - \zeta_{sv} - \zeta_{ch} [1] \quad (53)$$

Kde ζ_i jsou poměrné ztráty kotle

- i = CO - hořlavinou ve spalínách;
C - hořlavinou v tuhých zbytcích;
k - fyzickým teplem spalín (komínová);
f - fyzickým teplem tuhých zbytků;
sv - sdílením tepla do okolí;
ch - chlazením

Teplo přivedené v 1 kg paliva

$$Q_{in} = Q_i^r + \Delta Q_{POV} + \Delta Q_{pal} + \Delta Q_{sr} [kJ \cdot kg^{-1}] \quad (54)$$

ΔQ_{POV} teplo přivedené předehřevem spalovacího vzduchu

ΔQ_{pal} teplo přivedené předehřevem paliva

ΔQ_{sr} teplo přivedené recirkulací spalín

$$Q_{in} = 10000 + 0 + 0 + 0 = 10000 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

6.5.1. Výpočet ztrát

Hořavinou ve spalínách

Ztráta hořavinou ve spalínách vzniká chemickou nedokonalostí spalování a vyznačuje se obsahem nespálených plynů CO, H₂, C_xH_x ve spalínách.

$$\zeta_{CO} = \frac{12640 \cdot a_1 \cdot V_{SCO}}{Q_{in}} = \frac{12640 \cdot 0,000927 \cdot 0,54114}{10000} = 0,000634 [1] \quad (55)$$

$$\zeta_{CO} = 0,000634 \cdot 100 = 0,0634 [\%]$$

Hořavinou v tuhých zbytcích

Ztrátu hořavinou v tuhých zbytcích představuje uhlík v nich obsažený. Tuhými zbytky jsou myšleny škvára, popílek ve spalínách a roštový propad.

$$\zeta_C = \frac{b \cdot C^r \cdot 32600}{Q_{in}} = \frac{0,003822 \cdot 0,290 \cdot 32600}{10000} = 0,003614 [1] \quad (56)$$

$$\zeta_C = 0,003614 \cdot 100 = 0,3614 [\%]$$

Fyzickým teplem spalín (komínová ztráta)

Ztráta fyzickým teplem spalín bývá označována také jako komínová ztráta a představuje jednu z největších ztrát kotle. Je dána tepelnou energií odcházejících spalín. Její velikost významně ovlivňuje teplota spalín a součinitel přebytku vzduchu za kotlem. Vztažná teplota t_0 vychází z energetické bilance parního kotle a musí být pevně stanovena. Není-li stanoveno jinak, její hodnota je 20°C. Vztažná teplota nesouvisí s měřenou teplotou okolí.

$$\zeta_k = \frac{V_s \cdot \bar{c}_s \cdot (t_k - t_0)}{Q_{in}} = \frac{4,58 \cdot 1,49609 \cdot (170 - 20)}{10000} = 0,102781 [1] \quad (57)$$

$$\zeta_k = 0,102781 \cdot 100 = 10,2781 [\%]$$

Teplem tuhých zbytků

Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků je způsobena nevyužitým teplem odcházejících tuhých zbytků.

$$\zeta_f = \frac{A^r \cdot \left(\sum \frac{X_i \cdot \bar{C}_{si} \cdot (t_i - t_0)}{1 - C_i} \right)}{Q_{in}} [1] \quad (58)$$

$$\zeta_f = \frac{0,11 \cdot \left(\frac{0,85 \cdot 0,7973 \cdot (170 - 20)}{1 - 0,009} + \frac{0,15 \cdot 1,0132 \cdot (600 - 20)}{1 - 0,0155} \right)}{10000} = 0,0021 [1]$$

$$\zeta_f = 0,0021 \cdot 100 = 0,21 [\%]$$

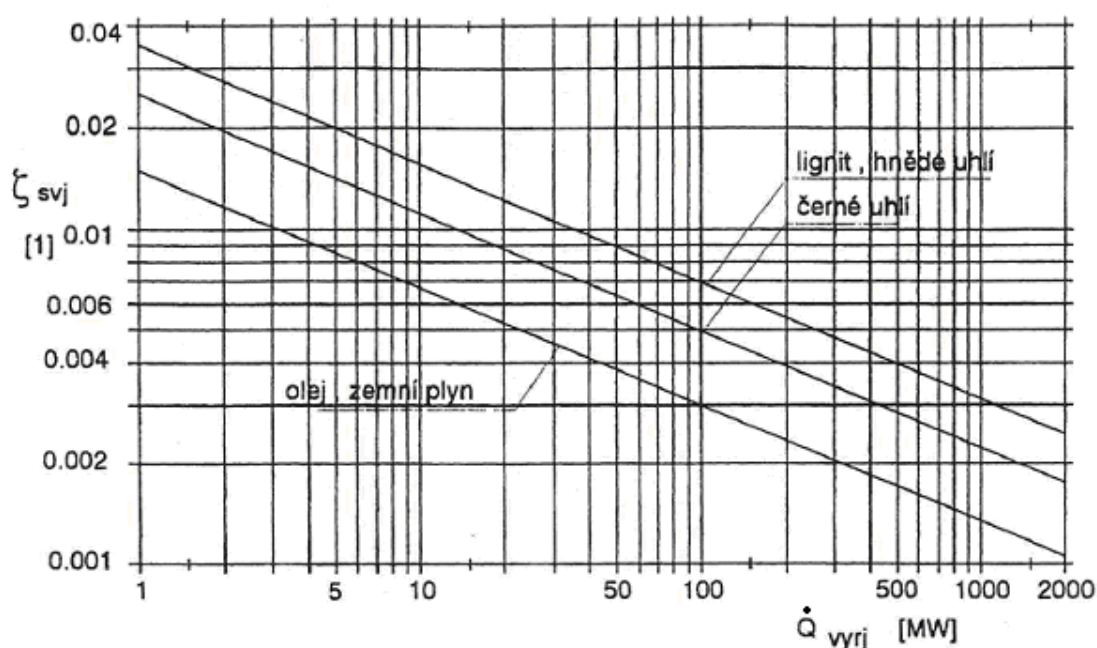
Střední měrná tepelná kapacita tuhých zbytků (škvára, popílek)

$$\bar{c}_{ssk} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{sk} = 1,0132 [kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$$

$$\bar{c}_{spop} = 0,712 + 0,502 \cdot 10^{-3} \cdot t_{pop} = 0,7973 [kJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$$

Sdílením tepla do okolí

Na ztrátu sdílením tepla do okolí má vliv tepelný výkon parního kotle a druh spalovaného paliva. Ztráta sdílením tepla do okolí relativně klesá s rostoucím tepelným výkonem parního kotle. Závislost ztráty sdílením tepla do okolí na výkonu kotle a druhu paliva je znázorněn v grafu 6.1.



Graf 6.1 Ztráta sdílením tepla do okolí [10]

$$\zeta_{sv} = \zeta_{svj} \cdot \frac{\dot{Q}_{vyrj}}{\dot{Q}_{vyr}} = 0,005707 \cdot \frac{178}{178} = 0,005707 [1] \quad (59)$$

$$\zeta_{sv} = 0,005707 \cdot 100 = 0,5707 [\%]$$

Kde

$$\zeta_{svj} = k_1 \cdot \dot{Q}_{vyrj}^{-0,35} \cdot 10^{-2} = 3,5 \cdot 178^{-0,35} \cdot 10^{-2} = 0,005707 [1] \quad (60)$$

Hodnota k_1 pro hnědé uhlí je 3,5 [1]

6.5.2. Konečný výpočet účinnosti

$$\eta = 1 - \zeta_{CO} - \zeta_C - \zeta_k - \zeta_f - \zeta_{sv} - \zeta_{ch} [1]$$

$$\eta = 1 - 0,000634 - 0,003614 - 0,102781 - 0,002113 - 0,005707 = 0,8852 [1]$$

$$\eta = 0,8852 \cdot 100 = 88,52 [\%]$$

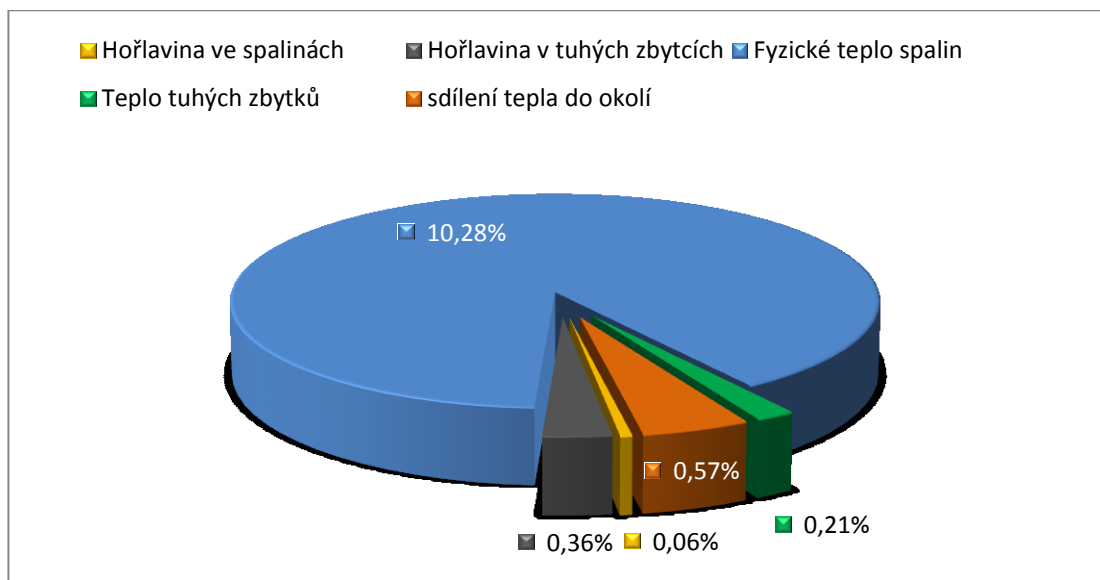


Diagram 6.1 Ztráty kotle při jmenovitém výkonu

7. Výpočet spotřeby paliva

Množství spotřeby paliva při jmenovitém výkonu kotle

$$\dot{m}_{pal\ j} = \frac{\dot{Q}_{vyr}}{Q_{in} \cdot \eta} = \frac{178000}{10000 \cdot 0,8852} = 20,1095 [kg \cdot s^{-1}] \quad (61)$$

$$\dot{m}_{pal\ j} = 20,1095 \cdot 3,6 = 72,39 [t \cdot h^{-1}]$$

8. Návrh a výpočet ventilátorového mlýna

Návrh a výpočet mlýnského okruhu je proveden podle literatury [1] a [2].

Výpočet je proveden pomocí programu Excel a zvolené hodnoty při prvním výpočtu jsou zpřesněny při opakovaných výpočtech.

8.1. Množství paliva připadající na jeden mlýnský okruh při jmenovitém výkonu kotle

Celková spotřeba paliva při jmenovitém výkonu kotle je 72,39 t.h⁻¹.

Při provozu kotle se 4 MO

$$\dot{m}_{pal\ m1} = \frac{\dot{m}_{pal\ j}}{e} = \frac{72,597}{4} = 18,099 t \cdot h^{-1} = 5,027 [kg \cdot s^{-1}] \quad (62)$$

Při provozu kotle se 3 MO

$$\dot{m}_{pal\ m1} = \frac{\dot{m}_{pal\ j}}{e} = \frac{72,597}{3} = 24,131 t \cdot h^{-1} = 6,703 [kg \cdot s^{-1}]$$

8.2. Hmotnostní bilance mlecího okruhu

Celá bilance se vztahuje na 1 kg paliva.

Výchozí předpoklady pro výpočet:

1/ palivo se zcela vysuší v sušce;

2/ vzduch se přisává pouze ve mlýně.

Odchytky předpokladů oproti skutečnosti se navzájem z části eliminují.

8.2.1. Vysušení paliva

$$\Delta W = \frac{W_0 - W_1}{1 - W_1} = \frac{0,52 - 0,17}{1 - 0,17} = 0,422 [kg \cdot kg^{-1}] \quad (63)$$

8.2.2. Objem vysušené vodní páry

$$V_{H_2O} = v \cdot \Delta W = 1,245 \cdot 0,422 = 0,525 [m_n^3 \cdot kg^{-1}] \quad (64)$$

8.2.3. Podíl primárního vzduchu

Podle obsahu prchavého podílu v palivu volím součinitel μ_{1° .

$$\mu_{1^\circ} = (0,6 \div 1) \cdot V^{daf}$$

$$\mu_{1^\circ} = 0,6 \cdot V^{daf} = 0,6 \cdot 0,6 = 0,36 [1]$$

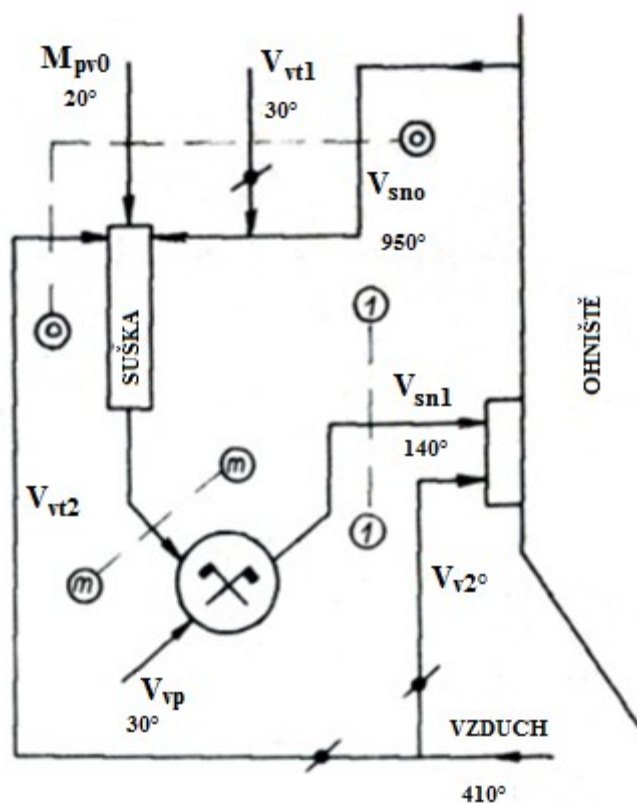
$$V_{v1^\circ} = \mu_{1^\circ} \cdot \alpha_{Hk} \cdot V_{vmin} = 0,36 \cdot 1,12 \cdot 3,065 = 1,236 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (65)$$

8.2.4. Podíl sekundárního vzduchu

$$V_{v2^\circ} = (1 - \mu_{1^\circ}) \cdot \alpha_{Hk} \cdot V_{vmin} = (1 - 0,36) \cdot 1,12 \cdot 3,065 = 2,197 [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (66)$$

Primární vzduch obsahuje:

- Temperovací vzduch V_{vt1° o teplotě 30°C
- Temperovací vzduch V_{vt2° o teplotě 410°C
- Přísátý vzduch V_{vp} o teplotě 30°C
- Vzduch obsažený v nasátých spalínách z ohniště V_{vs}



Obrázek 8.1 Mlecí okruh [1]

8.2.5. Průtok sušícího a nosného prostředí za mlecím okruhem

Na základě obsahu W_0 v palivu a dále pak teplotě nasávaných spalin volím dle literatury [1] hodnotu průtoku spalin na vstupu do mlýna $V_{sn\ m} = 2,35 [m_n^3 \cdot kg^{-1}]$.

$$V_{sn1} = (1 + k_{vp}) \cdot V_{sn\ m} = (1 + 0,15) \cdot 2,35 = 2,703 [m_n^3 \cdot kg^{-1}] \quad (67)$$

8.2.6. Přisátý vzduch

$$V_{vp} = k_{vp} \cdot V_{sn\ m} = 0,15 \cdot 2,35 = 0,353 [m_n^3 \cdot kg^{-1}] \quad (68)$$

Poměrnou velikost přisátého vzduchu $k_{vp} = 0,15 [1]$ volím pro ventilátorový mlýn dle literatury [1].

8.2.7. Vzduch přisátý v ohništi

$$V_{vp\ o} = V_{v\ ok} - V_{v\ Hk} = (\alpha_k - \alpha_{Hk}) \cdot V_{v\ min} = (1,24 - 1,12) \cdot 3,065 = 0,366 [m_n^3 \cdot kg^{-1}] \quad (69)$$

8.2.8. Temperovací vzduch

Při výpočtu podílu temperovacího vzduchu se od podílu primárního vzduchu odečítá podíl vzduchu v recirkulovaných spalinách, který se do nich dostal přisátím v ohništi.

Podíl vzduchu v recirkulovaných spalinách

$$V_{vp\ s} = \mu_r \cdot V_{vp\ o} [m_n^3 \cdot kg^{-1}] \quad (70)$$

$$V_{vt} = V_{vt1} + V_{vt2} = V_{v1^\circ} - V_{vp} - V_{vp s} = 1,236 - 0,353 - \mu_r \cdot 0,366 [m_n^3 \cdot kg^{-1}] \quad (71)$$

8.2.9. Nasávané (recirkulované) spaliny z ohniště

$$\begin{aligned} V_{sn o} &= V_{sn m} - (V_{v1^\circ} - V_{vp} - V_{vp o} \cdot \mu_r) - V_{H_2O} = \\ &= 2,35 - (1,236 - 0,353 - 0,366 \cdot \mu_r) - 0,525 [m_n^3 \cdot kg^{-1}] \end{aligned} \quad (72)$$

Poměrný podíl recirkulovaných spalin

$$\mu_r = \frac{V_{sn o}}{V_{s ok}} [1] \quad (73)$$

Po dosazení z obou posledních rovnic dostaneme

$$V_{sn o} = \frac{V_{sn m} - V_{v1^\circ} + V_{vp} - V_{H_2O}}{1 - \frac{V_{vp o}}{V_{s ok}}} = \frac{2,35 - 1,236 + 0,353 - 0,525}{1 - \frac{0,366}{4,580}} = 1,023 [m_n^3 \cdot kg^{-1}]$$

Po výpočtu $V_{sn o}$ můžeme spočítat poměrný podíl recirkulovaných spalin z ohniště

$$\mu_r = \frac{V_{sno}}{V_{s ok}} = \frac{1,023}{4,580} = 0,223 [1]$$

8.2.10. Podíl vzduchu v recirkulovaných spalinách

$$V_{v s} = (\alpha_{ok} - 1) \cdot \mu_r \cdot V_{s min} = (1,24 - 1) \cdot 0,223 \cdot 3,845 = 0,206 [m_n^3 \cdot kg^{-1}] \quad (74)$$

8.2.11. Přisátý vzduch z vnějšku v recirkulovaných spalinách

$$V_{vp s} = \mu_r \cdot V_{vp o} = 0,223 \cdot 0,366 = 0,082 [m_n^3 \cdot kg^{-1}]$$

8.2.12. Celkový temperovací vzduch

$$V_{vt} = V_{v1^\circ} - V_{vp} - V_{vp s} = 1,236 - 0,353 - 0,082 = 0,802 [m_n^3 \cdot kg^{-1}]$$

8.3. Tepelná bilance mlecího okruhu

Pomocné výpočty entalpií přepočtených z hodnot uvedených v tabulkách pro základní teploty.

$$i_v^{30^\circ} = c_p \cdot \Delta t = 1,297 \cdot 30 = 38,91 [kJ \cdot m^{-3}] \quad (75)$$

$$i_v^{140^\circ} = \frac{261,4 - 130,0}{100} \cdot 40 + 130,0 = 182,56 [kJ \cdot m^{-3}]$$

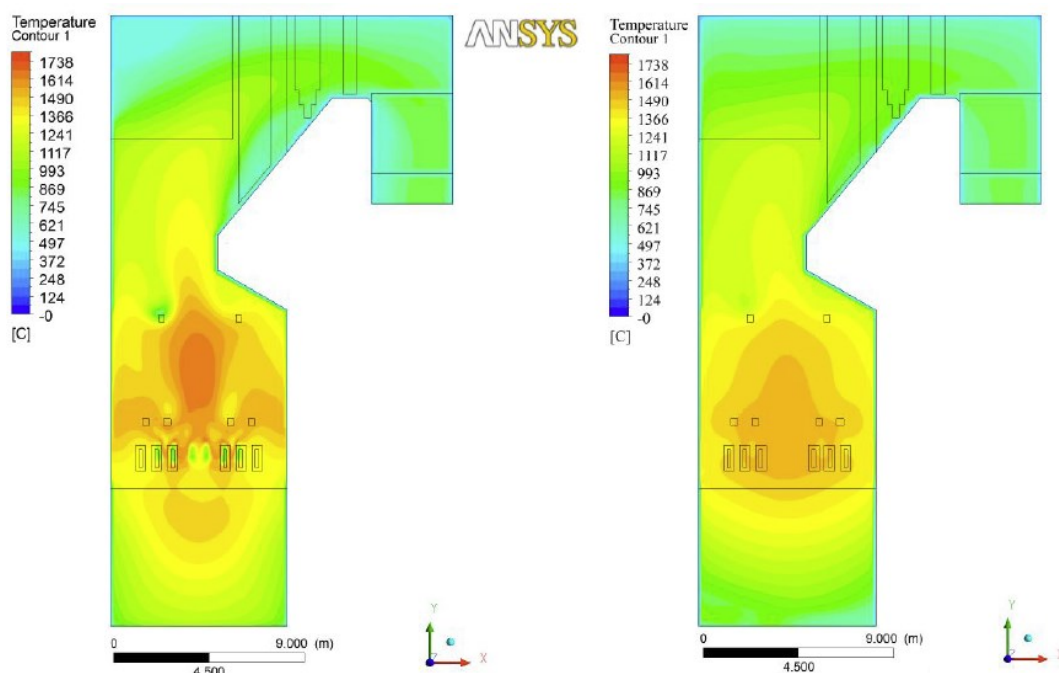
$$i_v^{410^\circ} = \frac{671,6 - 531,7}{100} \cdot 10 + 531,7 = 545,69 [kJ \cdot m^{-3}]$$

$$I_{s \alpha_{ok}}^{140^\circ} = \left(\frac{742,6 - 370,2}{100} \cdot 40 + 370,2 \right) \cdot (\alpha_{ok} - 1) + \frac{937,3 - 462,9}{100} \cdot 40 + 462,9$$

$$I_{s \alpha_{ok}}^{140^\circ} = 777,024 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

$$V_{sn o} \cdot i_{sn}^{140^\circ} = \mu_r \cdot I_{s \alpha_{ok}}^{140^\circ} = 0,223 \cdot 777,024 = 173,635 [kJ \cdot kg^{-1}] \quad (76)$$

8.3.1. Přívod tepla do mlecího okruhu



Obrázek 8.2 Teplotní pole kotle, vlevo se stávajícím palivem, vpravo s palivem MIBRAG [9]

Na základě naměřených a vypočtených hodnot se teplota nasávaných spalín pohybuje na konci spalovací komory okolo 950°C.

Cítné teplo sušícího prostředí

$$q_{sn\ o} = V_{sn\ o} \cdot \bar{c}_{sn\ o} \cdot t_o = \mu_r \cdot I_{s\ \alpha_{ok}}^{950^\circ} = 0,223 \cdot 5852,661 = 1307,841 \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (77)$$

Cítné teplo surového paliva

$$q_{pal\ o} = [4,2 \cdot W_0 + (1 - W_0) \cdot \bar{c}_{pv\ suš}] \cdot t_{pv\ o} \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (78)$$

$$q_{pal\ o} = [4,2 \cdot 0,52 + (1 - 0,52) \cdot 1,13] \cdot 20 = 54,528 \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Střední měrné teplo sušiny $\bar{c}_{pal\ suš}$ je pro hnědá uhlí a rašelinu 1,13 [kJ · kg⁻¹ · K⁻¹], viz [1].

Teplo vzniklé ve mlýně z mlecí práce

$$q_m = 3,6 \cdot k_m \cdot \varepsilon_m = 3,6 \cdot 0,8 \cdot 18,176 = 52,348 \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (79)$$

Mlýn	k_m [1]
Kroužkový a kladkový	0,6
Trubnatý	0,7
Ventilátorový a tlukadlový	0,8

Tabulka 8.1 Poměrná velikost mlecí práce přeměněná na teplo [1]

Cítné teplo přisátého vzduchu do mlecího okruhu

$$q_{vp} = (V_{vp} + V_{vt1}) \cdot i_v^{30^\circ} = (0,353 + V_{vt1}) \cdot 38,91 = 13,73 + 38,91 \cdot V_{vt1} [kJ \cdot kg^{-1}] \quad (80)$$

Cítné teplo přivedené temperovacím vzduchem 2

$$q_{vt2} = (V_{vt} - V_{vt1}) \cdot i_v^{410^\circ} = 437,643 - 545,69 \cdot V_{vt1} [kJ \cdot kg^{-1}] \quad (81)$$

8.3.2. Odvod tepla z mlecího okruhu

Teplo potřebné pro odpaření vody

$$q_w = \Delta W \cdot (i_w^{140^\circ} - i_w^{20^\circ}) = 0,422 \cdot (2756,592 - 84) = 1126,997 [kJ \cdot kg^{-1}] \quad (82)$$

Cítné teplo sušícího prostředí (bez vodní páry z odpařené vody) na výstupu z mlecího okruhu

$$q_{sn1} = (V_{sn o} + V_{vt} + V_{vp}) \cdot \bar{c}_{sn1} \cdot t_1 = V_{sn o} \cdot i_{sn o}^{140^\circ} + (V_{vt} + V_{vp}) \cdot i_v^{140^\circ} [kJ \cdot kg^{-1}] \quad (83)$$

$$q_{sn1} = 173,635 + (0,802 + 0,353) \cdot 182,560 = 384,319 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

Cítné teplo v umletém prášku

$$q_{pal1} = (1 - W_0) \cdot \left(\bar{c}_{pal suš} + 4,2 \cdot \frac{W_1}{1 - W_1} \right) \cdot t_1 [kJ \cdot kg^{-1}] \quad (84)$$

$$q_{pal1} = (1 - 0,52) \cdot \left(1,13 + 4,2 \cdot \frac{0,17}{0,83} \right) \cdot 140 = 133,744 [kJ \cdot kg^{-1}]$$

Střední měrné teplo sušiny $\bar{c}_{pal suš}$ je pro hnědá uhlí a rašelinu 1,13 [kJ · kg⁻¹ · K⁻¹], viz [1].

Tepelné ztráty mlecího okruhu

$$q_z = k_z \cdot q_{sn o} = 0,1 \cdot 1307,841 = 196,176 [kJ \cdot kg^{-1}] \quad (85)$$

konstanta $k_z = 0,05 \div 0,15$ [1], volím $k_z = 0,1$ [1]

V ustáleném stavu se celkové přivedené teplo musí rovnat teplu odvedenému.

Z rovnosti přivedeného a odvedeného tepla se vypočte

Temperovací vzduch 1 (studený)

$$q_{sn o} + q_{pal o} + q_m + q_{vp} + q_{vt2} = q_w + q_{sn1} + q_{pal1} + q_z \quad (86)$$

$$1307,841 + 54,528 + 52,348 + 13,735 + 38,91 \cdot V_{vt1} + 437,643 - 545,69 \cdot V_{vt1} = \\ = 1126,997 + 384,319 + 133,744 + 196,176$$

$$V_{vt1} = \frac{1841,236 - 1865,83}{-506,780} = 0,049 [m_n^3 \cdot kg^{-1}]$$

Po vypočtení temperovacího vzduchu 1 můžeme vypočítat temperovací vzduch 2.

Temperovací vzduch 2 (teplý)

$$V_{vt2} = V_{vt} - V_{vt1} = 0,802 - 0,049 = 0,753 [m_n^3 \cdot kg^{-1}]$$

8.3.3. Kontrola

Bilance vzduchu přivedeného zvnějšku do systému mlecího okruhu

$$V_{v2^o} + V_{vt1} + V_{vt2} + V_{vp} + V_{vp\ o} \doteq \alpha_k \cdot V_{v\ min} \quad (87)$$

$$V_{v2^o} + V_{vt1} + V_{vt2} + V_{vp} + V_{vp\ o} = 3,718 [m_n^3 \cdot kg^{-1}]$$

$$\alpha_{ok} \cdot V_{v\ min} = 3,800 [m_n^3 \cdot kg^{-1}]$$

Chyba činí $-2,203$ [%], což vyhovuje.

8.4. Kontrola relativní vlhkosti spalín za mlýnem

Odhad měrné vlhkosti vzduchu $x_v \doteq 10 [g \cdot kg^{-1}]$

8.4.1. Vlhkost spalín

$$x_s = \frac{10^3 \cdot (9 \cdot H_2 + W_0) + \alpha_{ok} \cdot V_{vs\ min} \cdot \rho_v \cdot x_v}{1 + \alpha_{ok} \cdot V_{vs\ min} \cdot \rho_v} [g \cdot kg^{-1}] \quad (88)$$

$$x_s = \frac{10^3 \cdot (9 \cdot 0,0192 + 0,52) + 1,24 \cdot 3,017 \cdot 0,854 \cdot 10}{1 + 1,24 \cdot 3,017 \cdot 0,854} = 172,822 [g \cdot kg^{-1}]$$

Měrná hmotnost vzduchu při 140°C $\rho_v^{140^\circ} = 0,854 [kg \cdot m^{-3}]$ viz literatura [5]

8.4.2. Měrná hmotnost spalín

Složení spalín za mlýnem

1/ Temperovací a přísátý vzduch

$$V_{vt1} + V_{vt2} + V_{vp} = 1,154 [m_n^3 \cdot kg^{-1}] \quad (89)$$

2/ Vypařená voda

$$V_{H_2O} = 0,525 [m_n^3 \cdot kg^{-1}]$$

3/ Spaliny nasáté z ohniště

$$V_{sn1} - V_{vt} - V_{vp} - V_{H_2O} = 1,023 [m_n^3 \cdot kg^{-1}] \quad (90)$$

Měrná hmotnost spalín nasátých z ohniště

$$\rho_{sn}^{ok} = \frac{1 + \alpha_{ok} \cdot V_{v\ min} \cdot \rho_v}{V_s} = \frac{1 + 1,24 \cdot 3,065 \cdot 1,293}{4,580} = 1,291 [kg \cdot m_n^{-3}] \quad (91)$$

Měrná hmotnost

$$\rho_{sn} = \left(\frac{V_{vt} + V_{vp}}{V_{sn1}} \cdot \rho_{vz}^{0^\circ} + \frac{V_{H_2O}}{V_{sn1}} \cdot \frac{1}{v} + \frac{V_{sn1} - V_{vt} - V_{vp} - V_{H_2O}}{V_{sn1}} \cdot \rho_{sn}^k \right) \cdot \frac{273}{273 + t_1} [kg \cdot m^{-3}] \quad (92)$$

$$\rho_{sn}^{140^\circ} = \left(\frac{1,154}{2,703} \cdot 1,293 + \frac{0,525}{2,703} \cdot \frac{1}{1,245} + \frac{1,023}{2,703} \cdot 1,285 \right) \cdot \frac{273}{413} = 0,791 [kg \cdot m^{-3}]$$

$$\rho_{sn}^{100^\circ} = \left(\frac{1,154}{2,703} \cdot 1,293 + \frac{0,525}{2,703} \cdot \frac{1}{1,245} + \frac{1,023}{2,703} \cdot 1,285 \right) \cdot \frac{273}{373} = 0,876 [kg \cdot m^{-3}]$$

8.4.3. Poměrná hmotnostní část vzduchu v sušícím prostředí za mlýnem (bez přísátého vzduchu)

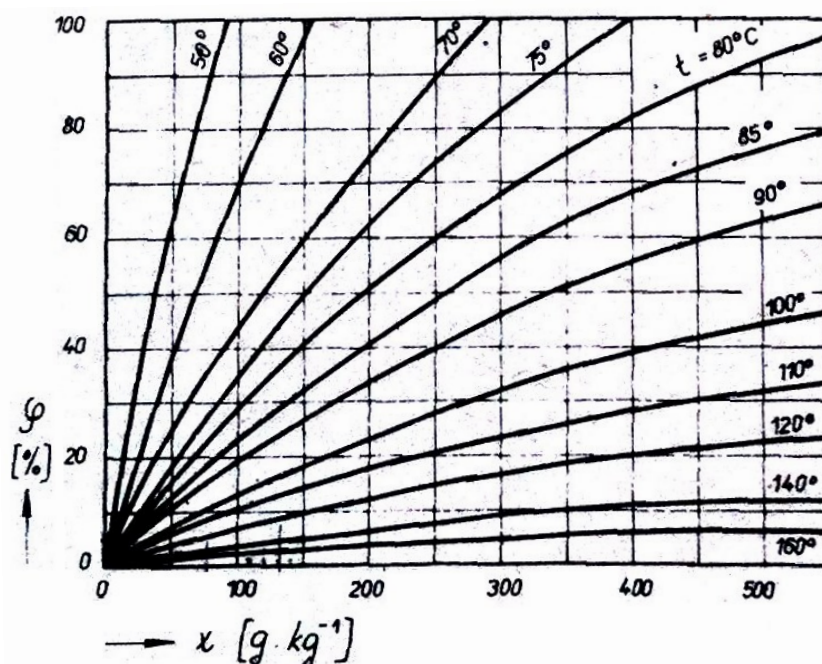
$$\mu_v = \frac{(V_{vt1} + V_{vt2} + V_{vs}) \cdot \rho_v^{140^\circ}}{V_{sn1} \cdot \rho_{sn}^{140^\circ}} = \frac{(0,049 + 0,753 + 0,206) \cdot 0,854}{2,703 \cdot 0,797} = 0,402 [1] \quad (93)$$

$$\mu_s = 1 - \mu_v = 1 - 0,402 = 0,598 [1] \quad (94)$$

8.4.4. Měrná vlhkost sušícího prostředí

$$x_1 = \frac{\mu_s \cdot x_s + (\mu_v + k_{vp}) \cdot x_v + \frac{10^3 \cdot \Delta W}{V_{sno} \cdot \rho_{sn}^{100^\circ}}}{1 + k_{vp} - [\mu_s \cdot x_s + (\mu_v + k_{vp}) \cdot x_v] \cdot 10^{-3}} [g \cdot kg^{-1}] \quad (95)$$

$$x_1 = \frac{0,598 \cdot 172,822 + (0,402 + 0,15) \cdot 10 + \frac{10^3 \cdot 0,422}{1,023 \cdot 0,876}}{1 + 0,15 - [0,598 \cdot 172,822 + (0,402 + 0,15) \cdot 10] \cdot 10^{-3}} = 579,120 [g \cdot kg^{-1}]$$



Graf 8.1 Relativní vlhkost sušícího prostředí [1]

Pro $x_1 = 579,120 [g \cdot kg^{-1}]$ a $140^\circ C$ odpovídá $\varphi = 12[\%]$ což vyhovuje.

8.5. Návrh a výpočet parametrů mlýna

8.5.1. Poměrné zúžení profilu mlecími deskami

$$Y = 1 - \frac{s \cdot z}{\pi \cdot D_2} [1]$$

Síla mlecích desek „s“ a počet mlecích desek „z“ mají vliv na ventilační výkonnost mlýna. Se zvětšující se tloušťkou a počtem mlecích desek ventilační výkonnost mlýna klesá. Počet mlecích desek „z“ se volí u ventilátorových mlýnů obvykle $8 \div 16$ kusů.

Volím sílu mlecí desky $s = 0,08 [m]$ a počet mlecích desek $z = 10 [1]$.

Pro dosažení potřebné ventilační výkonnosti volím $D_2 = 2,1 [m]$.

$$Y = 1 - \frac{0,08 \cdot 10}{\pi \cdot 2,1} = 0,879 [1] \quad (96)$$

8.5.2. Ventilační výkonnost mlýna

$$\dot{V}_n = \frac{\pi^2}{60} \cdot \lambda \cdot X \cdot D_2^3 \cdot n \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (97)$$

Vzájemný poměr šířky a vnějšího průměru mlecího kola se volí v rozmezí $\lambda = (0,25 \div 0,35)$.

Při těchto hodnotách a při obvodové rychlosti $u_2 = (80 \div 100) [m \cdot s^{-1}]$ pro dané palivo je dosažena nejvyšší poměrná mlecí výkonnost m_{uj} . Z hodnot naměřených v praxi při jmenovitém výkonu mlýna se pohybuje úhel $\alpha_2 = 1,3 \div 2,8 [^\circ]$. [2]

Na základě výše uvedených skutečností volím:

$$\lambda = 0,31 [1]$$

$$\alpha_2 = 2,2 [^\circ]$$

$$n_j = 900 [ot \cdot min^{-1}]$$

$$\dot{V}_{nj} = \frac{\pi}{60} \cdot 0,31 \cdot 0,879 \cdot 2,1^3 \cdot 900 \cdot \operatorname{tg}(2,2) = 14,348 [m^3 \cdot s^{-1}]$$

Ventilační výkonnost teoretická vypočtená pro zadané palivo

$$\dot{V}_{njt} = V_{sn1} \cdot \rho_{sn}^{140^\circ} \cdot \dot{m}_{pal m_1} = 2,703 \cdot 0,791 \cdot 6,703 = 14,335 [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (98)$$

Ventilační výkonnost vypočtená z navržených rozměrů je mírně větší než ventilační výkonnost vypočtená pro zadané palivo, což vyhovuje.

8.5.3. Výpočet šířky mlecího kola

$$b_2 = \lambda \cdot D_2 = 0,31 \cdot 2,1 = 0,651 [m] \quad (99)$$

8.5.4. Výpočet vnitřního průměru mlecího kola

$$D_1 = \frac{D_2}{\delta} = \frac{2,1}{1,5} = 1,4 [m] \quad (100)$$

Dle literatury [2] bývá obvykle $\delta \doteq 1,5 \div 2$.

8.5.5. Výpočet obvodové rychlosti

$$u_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 2,1 \cdot 900}{60} = 98,960 [m \cdot s^{-1}] \quad (101)$$

Obvodová rychlost by se měla pohybovat v rozmezí od 80 m.s^{-1} do 100 m.s^{-1} , což splňuje. Nižší hodnoty vedou k zvětšení rozměrů mlýna a při vyšších hodnotách dochází k neúměrnému nárůstu mlecí práce, vzrůstá opotřebení a zkracuje se životnost mlecích desek. [2]

8.5.6. Mlecí výkonnost mlýna

Výpočet a stanovení konstant

$a = 11 [1]$ Konstanta $a = 9$ až 11 pro $u_2 = 80$ až $100 [m.s^{-1}]$

Melitelnost podle Hardgrova $\mu_H = 85 [1]$ pro uhlí MIBRAG

Přepočet μ_H na μ_{VTI}

$$\mu_{VTI} = 0,0034 \cdot \mu_H^{1,25} + 0,61 = 1,4875 [1] \quad (102)$$

$$k_w = \frac{(4 + 1,06 \cdot W_0)^2 - W_{stř}^2}{(4 + 1,06 \cdot W_0)^2 - W_a^2} = 0,999 [1] \quad (103)$$

$$k_q = \frac{1 - W_{stř}}{1 - W_a} = 0,58 [1] \quad (104)$$

$$k_{R90} = \left(\ln \frac{1}{0,5} \right)^{-0,5} = 1,201 [1] \quad (106)$$

$$k_o = 0,85 [1]$$

součinitel opotřebení $k_o = 0,85 [1]$ odpovídá asi 1500 až 2500 provozních hodin [2]

Poměrná mlecí výkonnost mlýna

$$\dot{m}_{uj} = a \cdot \mu_{VTI} \cdot k_w \cdot k_q \cdot k_{R_{90}}^{-1} \cdot k_o \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (107)$$

$$\dot{m}_{uj} = 9,689 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Jmenovitá mlecí výkonnost mlýna

$$\dot{M}_{uj} = \dot{m}_{uj} \cdot D_2 \cdot b_2 = 9,689 \cdot 2,1 \cdot 0,651 = 13,246 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (108)$$

Požadovaná výkonnost je 6,703 [kg · s⁻¹] což vyhovuje.

8.5.7. Jmenovitý příkon motoru

Výpočet se provádí na základě mlecího a ventilačního výkonu mlýna. Pro výpočet příkonu se použije výkon, který vychází větší.

Jmenovitý mlecí výkon mlýna

$$P_{mj} = 65 \cdot D_2^2 \cdot \left(\frac{u_2}{80}\right)^2 = 65 \cdot 2,1^2 \cdot \left(\frac{98,96}{80}\right)^2 = 438,624 \text{ [kW]} \quad (109)$$

Jmenovitý ventilační výkon mlýna

Celkový tlak vyvozený za mlýnem teoretický

$$\Delta p_{ct} = \frac{\rho_{sn}^{140^\circ} \cdot \mu_s + \rho_v^{140^\circ} \cdot \mu_v}{2} \cdot u_2^2 \text{ [Pa]} \quad (110)$$

$$\Delta p_{ct} = \frac{0,791 \cdot 0,598 + 0,854 \cdot 0,402}{2} \cdot 98,96 = 3998,186 \text{ [Pa]}$$

Celkový tlak vyvozený za mlýnem skutečný

$$\Delta p_c = \Delta p_{ct} \cdot \frac{1}{1 + 1 \cdot \frac{2}{z \cdot (1 - \delta^{-2})}} \text{ [Pa]} \quad (111)$$

$$\Delta p_c = 3998,186 \cdot \frac{1}{1 + 1 \cdot \frac{2}{10 \cdot (1 - 1,5^{(-2)})}} = 2939,843 \text{ [Pa]}$$

$$P_{vej} = \frac{\dot{V}_{nj} \cdot \Delta p_c}{1000 \cdot \eta_{vej}} = \frac{14,348 \cdot 2939,843}{1000 \cdot 0,1} = 421,802 \text{ [kW]} \quad (112)$$

Ventilační účinnost bývá (0,1 ÷ 0,35), volím $\eta_{vj} = 0,1$ [1]

Příkon

$$P = P_{mj} \cdot 1,14 = 438,624 \cdot 1,14 = 500,032 \text{ [kW]} \quad (113)$$

8.6. Přehled parametrů navrženého mlýna

Přehled hlavních parametrů navrženého ventilátorového mlýna je znázorněn v přehledové tabulce 8.2.

Parametr	Hodnota
Maximální výkon mlýna	24 t.h ⁻¹
Teplota za MO	140 °C
Teplota recirkulovaných spalin	950 °C
Vlhkost uhlénoho prášku za MO	17 %
Vnější průměr mlecího kola	2,1 m
Jmenovitá ventilační výkonnost	14,35 m ³ .s ⁻¹
Šířka mlecího kola	0,65 m
Počet mlecích desek	10
Tloušťka mlecí desky	0,08 m
Jmenovité otáčky mlýna	900 s ⁻¹
Příkon elektromotoru	500 kW

Tabulka 8.2 Parametry ventilátorového mlýna

9. Závěr

Diplomová práce se zabývá návrhem úprav elektrárenského kotle G230, které by umožnily bezproblémové spalování nízkovýhřevného hnědého uhlí s velkým obsahem vody. Vlastní návrhy úprav jsou rozděleny na dvě oblasti.

První oblastí je skladování a doprava paliva v rámci kotle. Pro zabránění klenbování a nalepování nízkovýhřevného paliva na stěny zásobníku bylo na každý zásobník paliva nainstalováno 60 pulzních vzduchových trysek. Na dopravnících byly provedeny úpravy jednotlivých článků pro zamezení nalepování paliva a původní pohony s variátory byly nahrazeny za nové výkonnější s frekvenčními měniči.

Druhou oblastí úprav je zařízení na přípravu paliva pro spalování uhlí od společnosti MIBRAG. Toto uhlí se vyznačuje vysokým obsahem vody a to až 55%, což klade velké nároky na přísun tepla potřebného pro sušení. U paliv s obsahem vody nad 35% už nedostačuje pro sušení horký vzduch, ale jako sušicí a nosné medium se používají recirkulované spaliny. Optimálním technickým řešením je nahrazení stávajících tlukadlových mlýnů ventilátorovými mlýny. Sušicím a nosným mediem jsou recirkulované spaliny odebírané na konci spalovací komory. Z tohoto řešení vycházejí úpravy navržené a počítané v diplomové práci.

Výpočet ventilátorového mlýna vychází z výpočtu účinnosti kotle a hmotové bilance paliva. Vypočtený hmotový tok paliva připadající na jeden mlýnský okruh činí 24 t.h^{-1} . Pro toto množství paliva vychází vnější průměr mlecího kola 2,1 m, šířka mlecího kola 0,65 m a jmenovitý příkon motoru potřebný pro pohon mlýna 500 kW. Motor bude vybaven frekvenčním měničem, který umožní plynulou regulaci otáček a tedy výkonu ventilátorového mlýna. Díky možnosti regulace otáček bude zajištěn lepší vzájemný poměr mlecí a ventilační výkonnosti mlýna při změně výkonu kotle. Výpočet byl proveden pomocí programu Excel a navržené hodnoty byly zpřesněny opakovanými výpočty. Celý postup výpočtu v programu Excel je součástí přílohy. Výsledky jsou uvedeny na závěr výpočtu v přehledové tabulce. Součástí přílohy je rovněž výkres vypočteného mlýna a sestavný výkres kotle G230 s novým ventilátorovým mlýnem.

Jednotlivé navržené varianty jsou odstupňovány z hlediska výše investičních nákladů. Varianta nahrazení stávajících mlýnských okruhů s tlukadlovými mlýny za mlýnské okruhy s ventilátorovými mlýny, včetně přechodu na sušení spalinami, se jeví z pohledu investičních nákladů jako nejdražší. Avšak z hlediska spolehlivosti a ekonomie provozu, kterou nám tato varianta přináší, je z dlouhodobého hlediska výhodná.

10. Použitá literatura

- [1] JANEBA, Břetislav, KARTÁK, Jan. *Výpočet kotlů a parogenerátorů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1975.
- [2] ČERNÝ, Václav, Břetislav JANEBA a Jiří TEYSSLER. *Parní kotle*. Praha: SNTL, 1983.
- [3] ČERNÝ, Václav, Jan KARTÁK, František JIROUŠ a Bronislav MARVAN. *Základy konstruování kotlů a parogenerátorů jaderných elektráren*. Praha: ČVUT, 1974. ISBN 179802.
- [4] ČERNÝ, Václav. *Mletí a sušení uhlí: Příprava uhlí pro práškovací ohniště*. ČVUT, 1976.
- [5] KADLEC, Zdeněk. *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009, 100 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-061-6.
- [6] Uhlí máme dost, tvrdí elektrárna Opatovice. Už ale hledá nové dodavatele. In: *IDnes.cz/Ekonomika* [online]. 9. 6. 2012 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://ekonomika.idnes.cz/opatovice-maji-zasoby-uhli-na-tri-mesice-fdz-/ekonomika.aspx?c=A120609_113159_ekonomika_klm
- [7] STUDNÍČKA, J. *Technické poradenství pro společnost EOP, a.s.: Základní koncept úprav*. Opatovice nad Labem: ALSTOM s.r.o., 2012.
- [8] STUDNÍČKA, J. *Technické poradenství pro společnost EOP, a.s.: Porovnání spalovací zkoušky paliva Mibrag v EOP a EMĚ I*. Opatovice nad Labem: ALSTOM s.r.o., 2012, 43 s.
- [9] POVAŽAN, HAVRAN a WEISENPACHER. *Technické poradenství pro společnost EOP, a.s.: Základní koncept úpravy kotlov v elektrárně Opatovice*. Opatovice nad Labem: SES Tlmače, 2012, 40 s.
- [10] ČSN 07 0302. *Přejímací zkoušky parních kotlů*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 56 s.
- [11] ŠEBESTA, Miroslav. *Provozní předpis K4. Opatovice nad Labem: EOP*, 1998. 54 s.

11. Seznam příloh

Příloha A - Sestavný výkres kotle G230

Příloha B - Výkres zařízení pro přípravu paliva

Příloha C – CD s DP a výpočtem v programu Excel